

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХНВ

_____ Я.М. Корнієнко
(підпис)

«__» _____ 2018 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ
на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

за спеціальністю: 133 Галузеве машинобудування

спеціалізацією: Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання целюлозно-паперового виробництва

на тему: Вдосконалення папероробної машини ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат».

Модернізація формуючої частини папероробної машини (Комплексна)

Виконала студентка 6-го курсу, групи ЛБ-71мп

Світлана Олександрівна Бобела

(підпис)

Керівник магістерської дисертації

канд. техн. наук, ст. викл. О.А. Новохат

(підпис)

Консультанти:

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд. техн. наук, доцент І.М. Ковтун

(підпис)

очікувані техніко-економічні показники модернізації

канд. екон. наук, доцент Н.Є. Скоробогатова

(підпис)

технологія виготовлення кришки підшипникового вузла

ст. викл. Я.Г. Двойнос

(підпис)

автоматичний контроль і керування процесом

ст. викл. В.В. Колпаков

(підпис)

Рецензент

_____ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студентка _____ С.О. Бобела
(підпис)

Київ – 2018

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні скорочення:

ПрАТ «ККПК» – Приватне акціонерне товариство «Київський картонно-паперовий комбінат»

ПРМ – папероробна машина;

ЦПВ – целюлозно-паперове виробництво;

ККД – коефіцієнт корисної дії.

Умовні позначення:

V – швидкість, м/с;

q_l – лінійний тиск, кН/м;

S – сухість, %;

M – момент, Н·м;

W – момент опору, м³;

E – модуль пружності, Н/м²;

σ – напруження, МПа;

f – прогин, м;

F – сила, Н;

B, b – ширина, м;

H, h – висота, м;

L, l – довжина, м

D, d – діаметр, м;

m – маса, кг;

N – потужність, Вт;

n – частота обертання, с⁻¹;

I – момент інерції, м⁴;

G – сила тяжіння валу, Н;

p – тиск, Па;

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

T – тягове зусилля, Н;

Q – навантаження, Н;

ρ – густина, кг/м³;

C – вантажопідйомність, Н;

P – навантаження, Н.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Вступ

Сучасна целюлозно-паперова промисловість (ЦПП) розвивається швидкими темпами та згідно з аналітичним оглядом [1], середнє зростання світового споживання картонно-паперової продукції в період до 2025 року становитиме 2,1%, при цьому обсяги виробництва збільшаться від 400 до 495 млн. тонн на рік.

Тому для сталого розвитку целюлозно-паперової промисловості слід забезпечити ефективну модернізацію складових частин обладнання галузі. Перспективним напрямком розвитку ЦПП є перехід від застарілих способів формування паперового полотна на плоскіткової формуючій частині папероробної машини до новітніх процесів двосіткового формування.

Мета магістерської дисертації – модернізація конструкції формуючої частини папероробної машини на ПрАТ «ККПК».

Дисертація включає аналіз технологічного процесу формування паперового полотна з описом та обґрунтуванням обраної конструкції формуючої частини та її складальних одиниць; опис технічних характеристик та принципу дії двосіткової формуючої частини типу «Дуоформер Т», її основних складальних одиниць та деталей; порівняння основних показників обраної конструкції з найближчими схожими аналогами; підбір матеріалів для виготовлення елементів конструкції, проведення патентного дослідження гауч-валу, що входить до складу конструкції; виконання необхідних розрахунків для підтвердження працездатності та надійності елементів формуючої частини; розроблення заходів з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях; надання рекомендацій щодо монтажу та експлуатації, визначення рівня стандартизації та уніфікації двосіткової формуючої частини; виконання техніко-економічного обґрунтування модернізації гауч-валу та формуючого валу; розробку та описання технологічного процесу виготовлення деталі (кришки) та схеми автоматичного керування технологічним процесом формування паперового полотна.

Завдання на магістерську дисертацію отримано 03 вересня 2018 року під час проходження переддипломної практики на ПрАТ «ККПК».

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

1 Призначення та область застосування

Формування паперового полотна – складний процес, перебіг якого залежить від низки змінних факторів, до яких відноситься концентрація паперової маси, флокуляція, температура та в'язкість середовища, швидкість папероробної машини, значення величини вакууму зневоднюючих елементів. Паперова маса – це полідисперсна система, яка складається із рідкої фази (води), твердої фази (різномісних за розмірами та властивостями волокон целюлози та макулатури, частин наповнювачів, проклеюючих та фарбуючих речовин) і, в значно меншій мірі, газоподібної фази (повітря).

Формування паперового полотна відбувається на сітковому столі папероробної машини одночасно із процесом зневоднення, який відбувається в результаті фільтрації маси через шар волокна і сітку. На початку сіткового столу відбувається формування тонкого шару волокон, який поступово збільшується, підвищуючи при цьому опір фільтрації. Забезпечення оптимальних умов формування паперового полотна та якості готової продукції значною мірою залежить від конструкції формуючої частини [3].

В паперовій масі, що рухається з великою швидкістю, волокна орієнтуються за напрямом руху сітки. Тому однорідність паперу у різних напрямках не однакова. Міцність паперу вища у машинному напрямку (у напрямку руху сітки). На формуючій частині паперова маса перетворюється у паперове полотно, що характеризується низькою сухістю.

Таким чином, зневоднення паперового полотна в типовій формуючій частині, здійснюється, з одного боку, під дією сили тяжіння самої води, що міститься у паперовій масі, а з іншого під дією вакууму, який створюється при перепаді тиску між валами і сіткою. В результаті того, що товщина паперового полотна поступово зростає, на сітці при полотнаутворенні збільшується опір фільтрації, що спонукає застосовувати відсмоктуючі пристрої для інтенсифікації зневоднення паперового полотна.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Процес утворення паперового полотна на формуючій частині ПРМ поділений у загальному випадку на три зони:

- зона напуску волокнистої суспензії на сітку;
- зона утворення паперового полотна. В якості зневоднюючих елементів в цій зоні використовуються реєстрові вали або гідропланки, або їх комбінація, а також частково «мокрі» відсмоктуючі ящики;
- зона відсмоктування із наступним переміщенням вологого полотна із сітки. У цій зоні відбувається максимальне зневоднення в результаті вільного стікання води під дією зневоднюючих елементів за невеликого перепаду тиску. В цій зоні установлюють зневоднюючі елементи, що забезпечують підвищений перепад тиску (відсмоктувальні ящики та відсмоктувальні вали) [4].

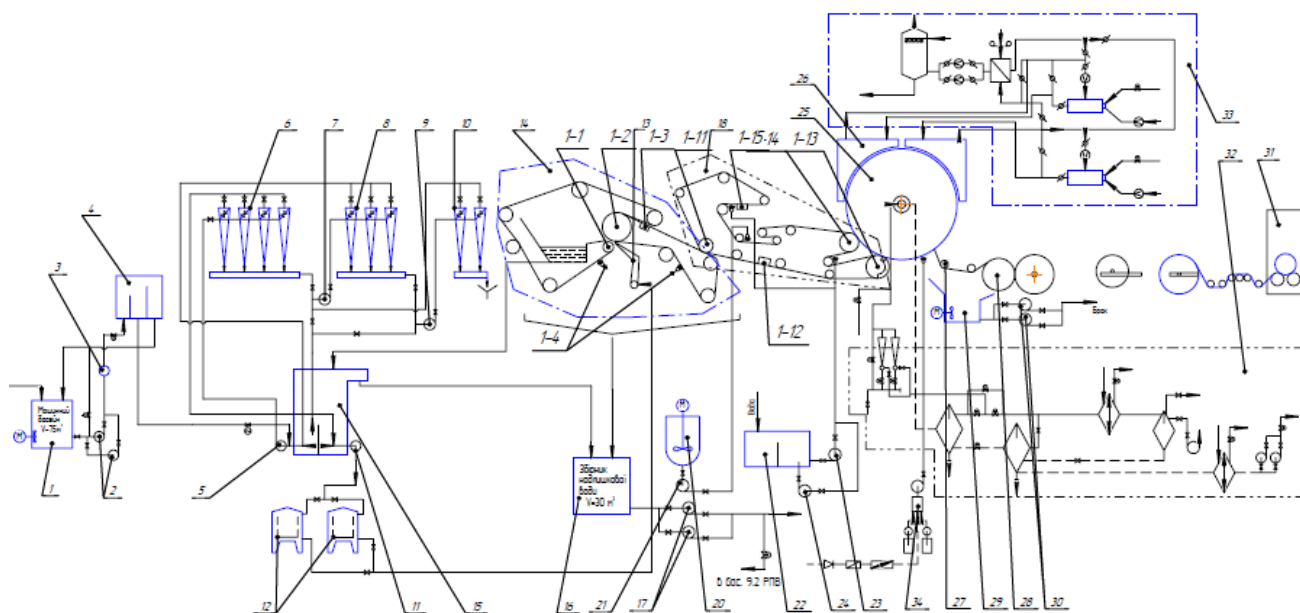
1.1 Опис технологічного процесу

Технологічний процес виготовлення санітарно-гігієнічного паперу включає наступні основні стадії: акумулювання паперової маси, розбавлення її водою до певної заданої концентрації, очищення від сторонніх включень і вузлів, напуск маси на сітку, зневоднення паперового полотна, що починається із формування на сітці ПРМ, продовжується пресуванням вологого листа та завершується сушінням, механічну обробку та намотування паперу в рулони. У технологічному потоці виробництва паперу ПРМ – самостійна машина, основні вузли якої встановлені строго послідовно уздовж монтажної осі [4].

Технологічна схема папероробної машини зображена на рисунку 1.1.

Підготовлена паперова маса надходить у машинний басейн, звідки її перекачують в змішувач, у якому розбавляють водою до заданої концентрації (для санітарно-гігієнічного паперу масою $25 \text{ г/м}^2 - 0,1-0,3 \%$). Потім паперова маса очищується від дрібних включень та вузлів у вихрових очисниках і поступає в напірно-розподільчий пристрій, з якого під певним тиском подається на сітку папероробної машини. Випускна щілина напірно-розподільчого пристрою розташована приблизно на рівні грудного валу.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



1 – басейн масний ($V=75\text{м}^3$), 2 – насос масний, 3 – регулятор концентрації, 4 – бак постійного рівня ($V=3\text{м}^3$), 5 – насос змішувальний I ст. розведення, 6 – очисник конічний вихровий I ст., 7 – насос II ст. УВК, 8 – очисник конічний вихровий I ст., 9 – насос III ст. УВК, 10 – очисник конічний вихровий III ст., 11 – насос змішувальний II ст. розведення, 12 – сортувалка S-31 «Voith», 13 – масонапускний пристрій, 14 – двосітковий стіл (Дуоформер Т): 1-1 – вал грудний, 1-2 – формуючий вал, 1-3 – розділювальний всмоктувальний пристрій, 1-4 – сприски, 15 – збірник реєстрової води, 16 – збірник надлишкової води, 17 – насоси, 18 – пресова частина: 1-11 – вал пересмоктувальний «Пікап», 1-12 – ящик відсмоктувальний, 1-13 – I-ий гарячий вал, 1-14 – II-гий гарячий вал, 1-15 – сукномийка, 19 – змішувальний пристрій, 20 – реактор для приготування миючого розчину, 21 – насос для миючого розчину, 22 – збірник теплої води, 23 – насос теплої води, 24 – насос теплої води, 25 – циліндр крепувальний, 26 – ковпак швидкісного сушіння, 27 – валик папероведучий, 28 – накат, 29 – установка для переробки сухого браку, 30 – насос відкачування браку, 31 – поздовжньо-різальний верстат, 32 – пароконденсатна система, 33 – газовий тепло центр, 34 – станція подачі хімікатів на циліндр крепувальний

Рисунок 1.1 – Технологічна схема папероробної машини

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛБ71.705411.001 ПЗ

Арк.

18

Масонапускний пристрій папероробної машини оснащений сопловим (щілинним) пристроєм та дозволяє отримати потік маси з рівномірним розподіленням волокна за шириною сіткової частини. Ширина ящика становить 4390 мм. Масонапускний пристрій складається із двох пластин, які називаються «губами». Для досягнення рівномірного розподілення маси вздовж усієї ширини ПРМ, напускний пристрій обладнаний розподільвальним пристроєм, який забезпечує гідравлічну стабілізацію потоку.

Для регулювання та вимірювання величини щілини для випускання паперової маси (товщини струменя), за допомогою пневмомеханізму переміщується пересувна плита, на яку насаджена нижня «губа».

Ширина щілини може змінюватися від 5 мм до 30 мм. Потік волокнистої суспензії при виході з масонапускного щілинного пристрою рухається в напрямку до сітки під кутом так, щоб 50% від маси потрапило в щілину між верхньою та нижньою сіткою і далі за рахунок відцентрового зусилля – на верхню сітку, а інші 50% потрапили на формувальний вал. За рахунок відцентрового зусилля проходить формування та зневоднення паперового полотна. Швидкісний напір маси сприяє швидкому зневодненню та утворенню волокнистого шару (паперового полотна) [5].

Сітка формуючої частини машини, огинаючи гауч-вал, повертається до грудного валу. При своєму зворотному русі вона проходить ряд допоміжних систем та валів. Сіткоправильний вал із пневмомеханізмом призначений для регулювання руху сітки і запобігання її зміщення на сторону. Механізм сітконатяжки призначений для регулювання величини натягу сітки. Сітководучий вал розташований ззовні сітки та забезпечений шаберами для очищення поверхні валу від залишків волокон паперової маси. Допоміжні системи сіткової частини – щілинні сіткомийки, механізми очищення сітки від залишків волокна та датчики ходу сітки, які встановлено на вільних частинах сітки.

Застосування систем очищення сітки необхідне, оскільки при її забрудненні погіршується процес фільтрації води, яка не знаходячи виходу через засмічені

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

отвори сітки, рухається через паперове полотно. Це викликає порушення його структури і призводить до неоднорідності структури паперу та обривів.

Сітка у вигляді безкінечного полотна рухається зі швидкістю від 10 до 20 м/с і струшується в поперечному напрямі для більш рівномірного розподілу волокон. Вода, що проступає через комірки сітки, відводиться в підсіткову ванну, звідки поступає на розбавлення маси або у системи вловлювання волокон [5].

Відстань між грудним та формуючим валами регулюється в залежності від маси 1 м² паперу від 5 до 40 мм за шкалою.

Розташування та швидкість верхньої сітки забезпечуються грудним валом, сіткоповоротним, сітконатяжним валом з пристроєм натягу верхньої сітки, сітководучим валом з пристроєм регулювання положення верхньої сітки з маятниковим щупом та сітководучим валом.

Розташування та швидкість нижньої сітки забезпечуються гауч-валом, формуючим валом, сітконатяжним валом із пристроєм натягу нижньої сітки, сітководучим валом із пристроєм регулювання положення нижньої сітки.

Формуючий вал та гауч-вал, які жорстко закріплені на станині, є приводними для нижньої сітки. Регулятор положення нижньої сітки встановлено з лицевого боку на кронштейні, який в свою чергу, також розміщений на станині нижньої сітки. Приводним валом верхньої сітки є грудний.

Пристрій натягу нижньої сітки, як і верхньої сітки, важільного типу. Він розміщений на супортах вертикального сітконатяжного валика та приводиться в дію за допомогою пневматичного двигуна.

Вертикальний сітконатяжний вал встановлено на супортах над поперечною балкою. Знімання паперового полотна з нижньої сітки здійснюється перед цим валом.

Паперове полотно передається з верхньої на нижню сітку за допомогою розділювального відсмоктувального пристрою, підключеного до вакуумної системи. Вакуум в вакуумній камері розділювального відсмоктувального пристрою складає 1-5 кПа. Він має дві щілини, які розділені планками та

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

забезпечують прилягання полотна до нижньої сітки.

Знімання паперового полотна з нижньої сітки та передавання його у пресову частину виконується після відсмоктувального гауч-валу. Відсмоктувальний гауч-вал виготовлений з металу із гумовим покриттям та має дві робочі камери. Вакуум в меншій робочій камері підтримується на рівні 70-80 кПа, а в більшій – 20-40 кПа.

Регістрова вода, яка збирається під час зневоднення паперової маси на дуоформері, надходить до збірника реєстрових вод. Вона використовується для розведення маси в змішувальному насосі та для розведення відходів I та II ступеня вихрових конічних очисників УВК-700. Надлишок реєстрової води переливається до басейну надлишкової води, куди також поступає вода з підсіткової ванни (вода від сприсків).

Після збірника повторного використання, вода насосом подається на розведення браку в цех перероблення паперу в ГРВ-03 та насосом вода перекачується до басейну зворотної води, об'ємом $V = 200 \text{ м}^3$. Потім вода поступає на флотаційне очищення системи KWI.

Вода від згущувача та прес-згущувача ТДУ збирається в басейні зворотної води. Зворотна вода використовується для розведення маси перед «Metso», а також насосом подається на розпускання маси в ГРГ_м-40, а далі подається на розведення маси після диспергатора ТДУ. Надлишок води з басейну зворотної води переливається до каналізації сильно забруднених стоків [5].

1.2 Вибір типу формуючої частини та її місце в технологічній схемі

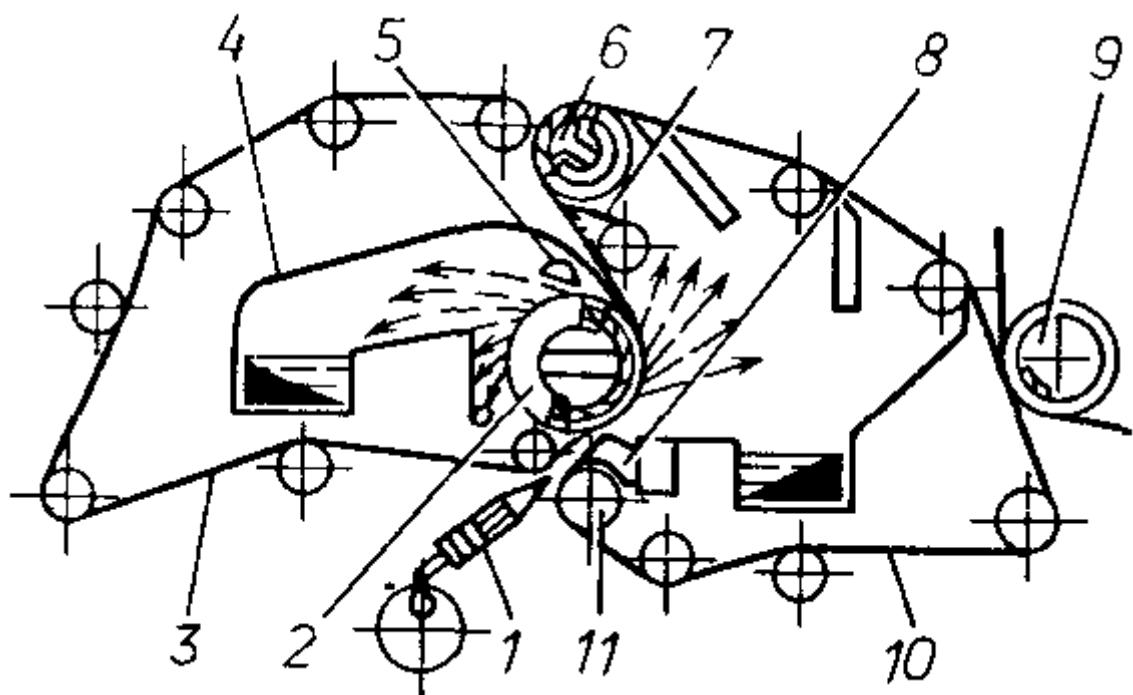
Найпоширенішими в Україні є два типи формуючих частин папероробної машини: плоскосіткова та двосіткова.

Папероробна машина із двосітковою формуючою частиною відрізняється від плоскосіткової тим, що відливання і формування паперового полотна здійснюється між двома сітками, що рухаються з однаковою швидкістю і в одному напрямку. Однак вони можуть мати різну довжину і різну форму поверхні. ПРМ із двосітковою формуючою частиною, на відміну від

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

плоскостіткової, зменшують імовірність утворення вторинної флокуляції, розшаровування, регулювання анізотропії паперу, його різнобічності та розподілу компонентів по товщині листа. [5] Також вони мають більшу продуктивність та дозволяють працювати за високої концентрації паперової маси. Це сприяє зниженню витрати свіжої води, зменшенню габаритних розмірів формуючих пристроїв і, відповідно до цього, зниженню капітальних витрат на будівництво паперо- та картоноробних виробництв.

На рисунку 1.2 представлена схема конструкції двосіткової формуючої частини на установці дуоформер.



- 1 – напірний ящик, 2 – формуючий вал, 3 – верхня сітка, 4 – збірник оборотної води, 5 – відсмоктувальний шабер, 6 – гауч-вал, 7 – відсмоктувальний ящик, 8 – формуючий ящик, 9 – пересмоктувальний пристрій, 10 – нижня сітка, 11 – грудний вал

Рисунок 1.2 – Двосіткова формуюча частина ПРМ

Паперова маса із напірного ящика надходить у проміжок між двома сітками (верхньою і нижньою) та проходить формуючий ящик.

Під дією розрідження, що створюється у формуючому ящику, та натягу сіток починається процес попереднього зневоднення паперової маси. Він продовжується на перфорованому формуючому валові, що оснащений двома відсмоктувальними камерами, відсмоктувальному шаберові та відсмоктувальному ящику. Процес зневоднення паперового полотна завершується на трикамерному гауч-валові. Паперове полотно пересмоктувальним валом знімається із сітки та направляється на пресову частину машини.

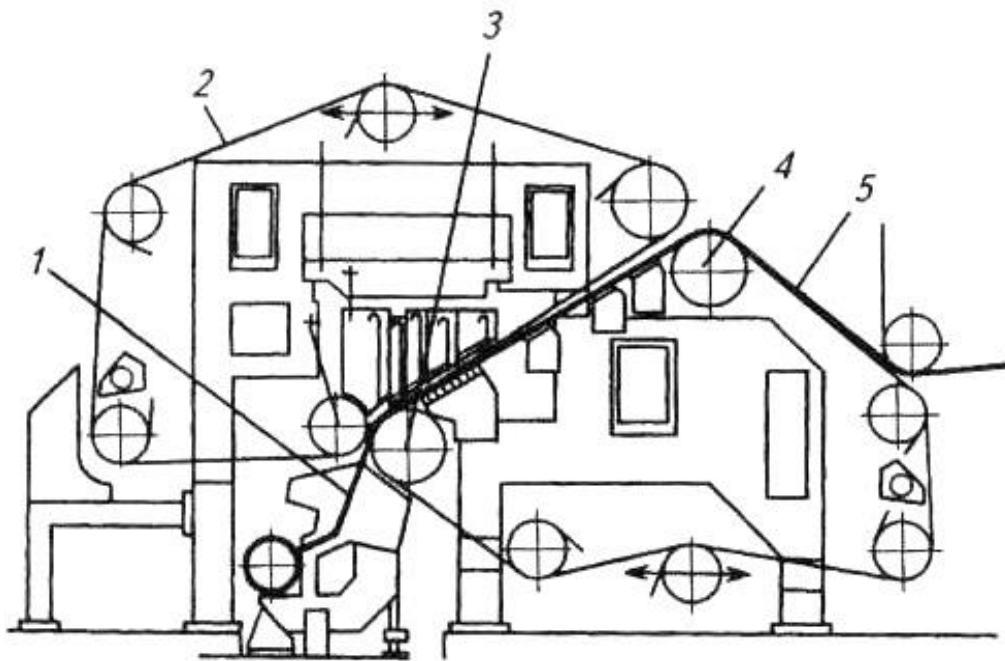
Установка дуоформер призначена для виготовлення різноманітних видів паперу-основи для письма та друкування масою 1 м² від 40 до 200 г, а також паперу-основи для крейдування та гофрування. На ПРМ, оснащених формуючим пристроєм дуоформер, була досягнута швидкість: 1200 м/хв при виготовленні газетного паперу, 1000 м/хв – основи для крейдування, масою не нижче 38 г/м², 800 м/хв при виготовленні письмових та друкарських видів паперу із масою 40 – 150 г/м² без вмісту деревної маси, 700 м/хв при виготовленні паперу-основи для гофрування, до 400 м/хв при виготовленні жиронепроникних видів паперу та до 1800 м/хв при виготовленні тонкого паперу, масою 14 г/м².

На рисунку 1.3 представлений варіант конструкції двосіткової формуючої частини ПРМ типу DuoFormer CFD, що підходить для виготовлення тонких видів паперу. Вона складається із таких основних частин: напускного пристрою, через який паперова маса подається між двома безкінечними сітками – верхньою та нижньою, формуючого валу, застосування якого забезпечує стабільність потоку маси, гауч-вала та пересмоктую чого вала. Гауч-вал оснащений вакуум-камерами для видалення максимально можливої кількості води із паперового полотна [6].

Конструкція формуючої частини являє собою систему стійок, поперечних і поздовжніх балок, що утворюють секції, на яких встановлюються зневоднювальні елементи, кріпляться вали, щільові сіткомийки та інші допоміжні засоби.

Формуюча частина оснащується пристроями для вимірювання натягу сітки, для періодичного визначення величини натягу і регулювання положення сітки. Основні та допоміжні вали оснащуються шаберами [6].

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23



1 – масонапускний пристрій, 2 – верхня сітка, 3 – формуючий вал, 4 – гауч-вал,
5 – нижня сітка

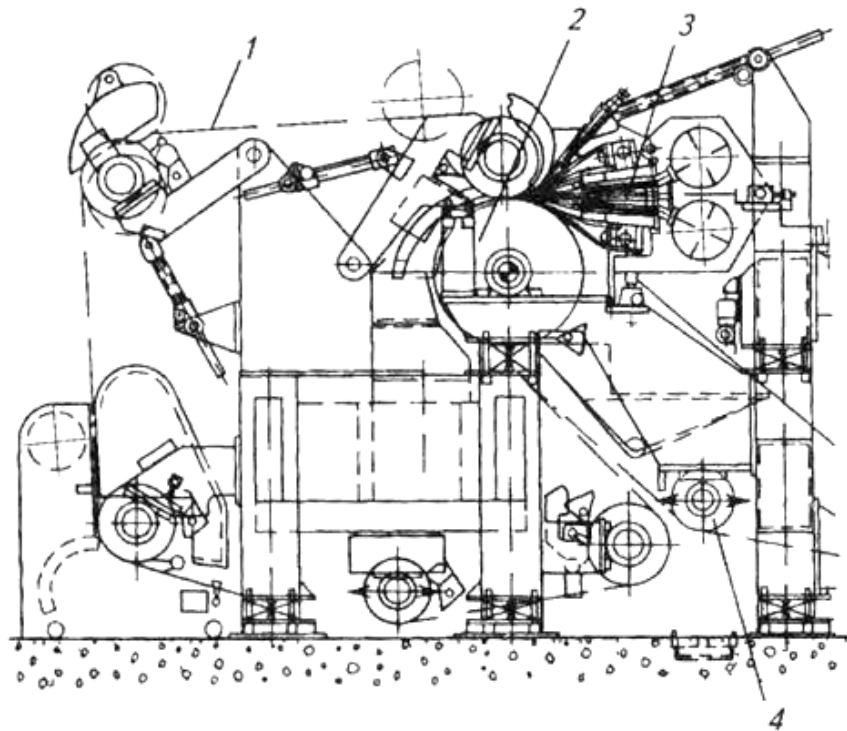
Рисунок 1.3 – Двосіткова формуюча частина ПРМ типу DuoFormer CFD

Застосування двосіткової формуючої частини в конструкції ПРМ дозволяє суттєво збільшити максимальну робочу швидкість машини, і відповідно, покращити техніко-економічні показники її роботи: підвищити продуктивність, знизити собівартість готової продукції, що виробляється, зменшити питомі витрати волокнистих напівфабрикатів, покращити якість паперу та профіль маси квадратного метру. Крім того, скорочуються габаритні розміри формуючої частини та потужність, що споживає ПРМ із-за часткової або повної відмови від вузлів із тертям ковзання (формуючих і відсмоктувальних ящиків, дефлекторів, гідропланок). З'являються можливості для застосування найсучасніших засобів автоматизації, засобів контролю, регулювання та оптимізації якості продукції, що виготовляється, що, в кінцевому результаті, веде до підвищення надійності технологічного процесу [6].

Компанією «Voith Sulzer» спроектована найшвидша на сьогодні формуюча частина типу CrescentFormer ТМ 22 (рисунок 1.4), що застосовується для

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

виготовлення санітарно-гігієнічного паперу. Формуюча частина цього типу працює на швидкості до 2200 м/хв. Виготовляє продукцію із хіміко-механічної та термо-механічної деревної маси, а також вторинного волокна.



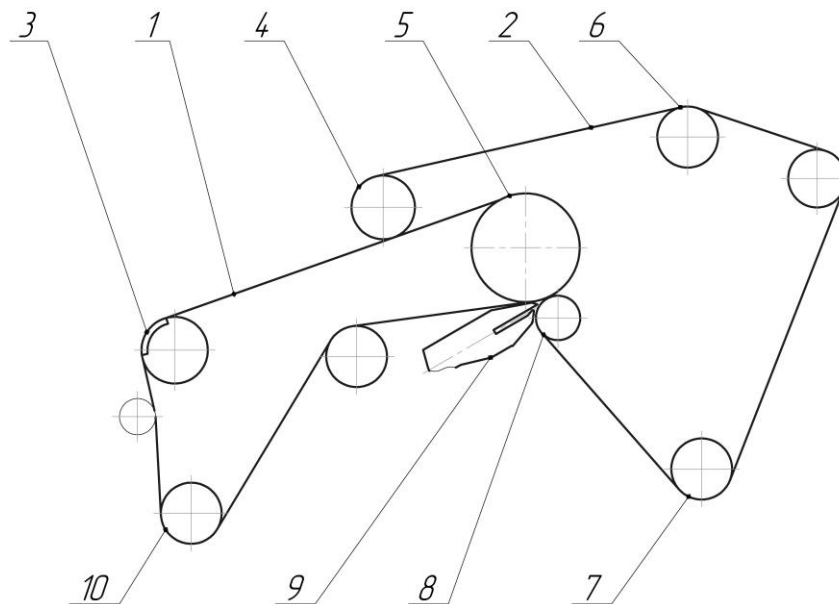
1 – формуюча сітка, 2 – формуючий вал, 3 – двошаровий масонапускний пристрій,
4 – знімне сукно

Рисунок 1.4 – Схема формуючого пристрою CrescentFormer TM 22

Подача паперової маси здійснюється в зазор між двома сітками із масонапірного пристрою, який передбачає двошарове формування. Конструкція формуючої частини типу CrescentFormer TM 22 характеризується високими показниками зневоднення паперового полотна та короткою гнучкою зоною формування, а також можливістю контролювати орієнтацію волокна та надійною конструкцією сіткового столу.

Папероробна машина для виготовлення санітарно-гігієнічного паперу на ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат» оснащена двосітковою формуючою частиною типу «Дуоформер Т» (рисунок 1.5) [5].

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25



1 – нижня сітка, 2 – верхня сітка, 3 – гауч-вал, 4 – сіткоповоротний вал, 5 – формуючий вал, 6 – сітководучий вал, 7 – сітконатяжний вал верхньої сітки, 8 – грудний вал, 9 – масонапускний пристрій, 10 – сітконатяжний вал нижньої сітки

Рисунок 1.5 – Схема двосіткової формуючої частини типу «Дуоформер Т»

В технологічній схемі формуюча частина типу «Дуоформер Т» входить до складу так званої мокрої частини ПРМ.

Мокра частина складається з масонапускного пристрою, верхньої та нижньої сіток. У цій частині відбувається формування паперового полотна. З масонапускного пристрою волокнистий напівфабрикат подається між двох сіток, у проміжок між формуючим та грудним валом. Робоча швидкість папероробної машини понад близько 1000 м/хв. Під дією тиску, який створюється натягом верхньої та нижньої сіток, протікає процес зневоднення маси та осідання волокон. На ділянці за формуючим валом відбувається передавання паперового полотна із верхньої (зовнішньої) сітки на нижню (внутрішню). Між сітками паперове полотно зневоднюється також і завдяки відцентровій силі формуючого вала. Сухість полотна після формуючої частини даного типу конструкції складає 20 – 23%.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2 Технічна характеристика

Технічна характеристика конструкції двосіткової формуючої частини ПРМ наведена в таблиці 2.1.

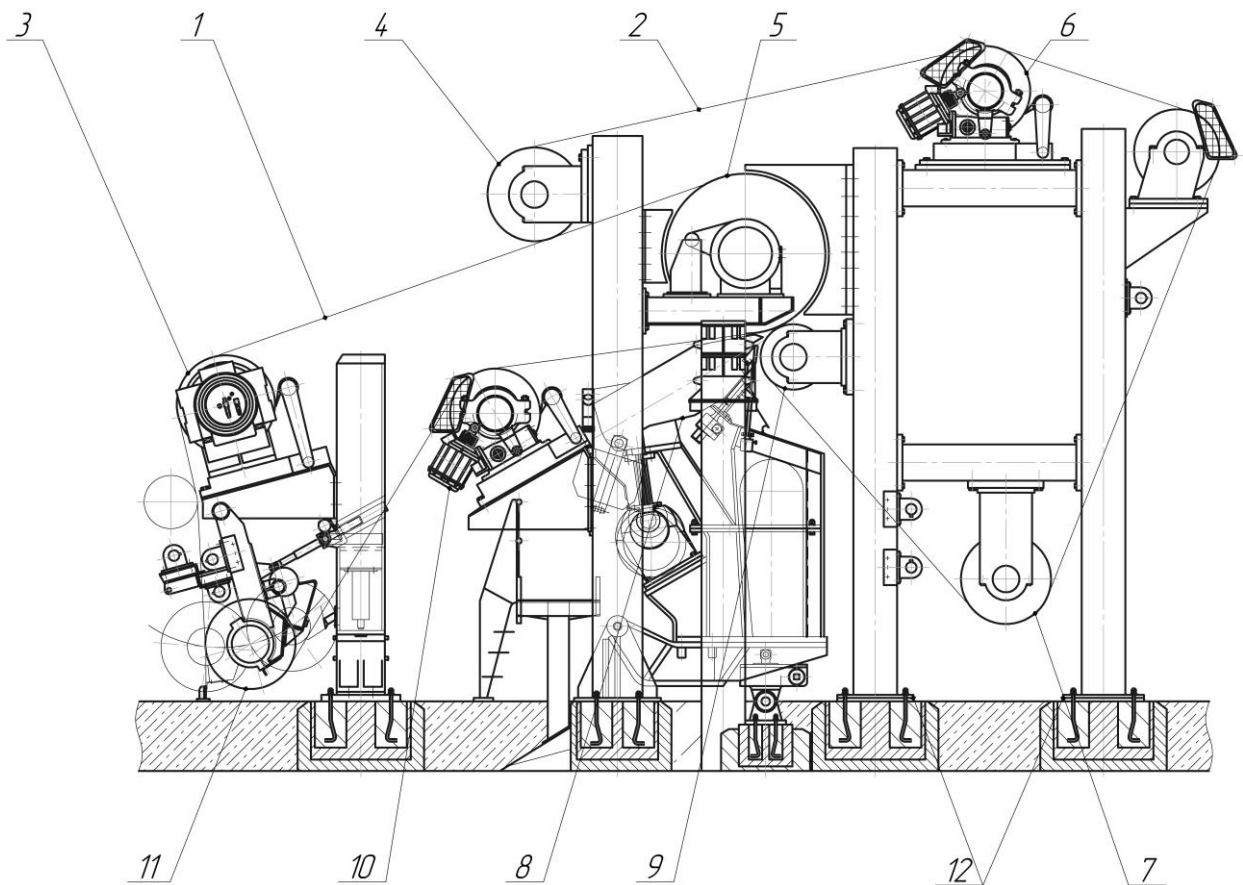
Таблиця 2.1 – Технічна характеристика двосіткової формуючої частини ПРМ

Найменування	Одиниця вимірювання	Показник
Продуктивність при виготовленні паперу масою 25 г/м ²	кг/год	5450
Обрізна ширина паперу	м	4,25
Швидкість машини	м/с (м/хв)	15 (900)
Робоча ширина валів	м	5
Ширина верхньої сітки	м	4,8
Ширина нижньої сітки	м	4,8
Довжина між опорами гауч-валу	м	6,1
Довжина між опорами формуючого валу	м	5,6
Габаритні розміри формуючої частини: – довжина – ширина – висота	м	10,7 6,5 7,5
Маса формуючої частини	т	125
Потужність приводу верхньої сітки	кВт	90
Потужність приводу нижньої сітки	кВт	130

3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції

3.1 Конструкція та принцип дії формуючої частини, основних складальних одиниць та деталей

Схема двосіткової формуючої частини типу «Дуоформер Т» зображена на рисунку 3.1. Основними елементами конструкції, що розробляється є дві безкінечні сітки, масонапускний пристрій, відсмоктувальний гауч-вал, формуючий вал, грудний вал, пневматичні сіткоправки та сітководучі вали.



1 – нижня сітка, 2 – верхня сітка, 3 – гауч-вал, 4 – ведучий вал верхньої сітки, 5 – формуючий вал, 6 – правильний вал верхньої сітки, 7 – натяжний вал верхньої сітки, 8 – масонапускний пристрій, 9 – грудний вал, 10 – правильний вал нижньої сітки, 11 – натяжний вал нижньої сітки, 12 – станини

Рисунок 3.1 – Двосіткова формуюча частина типу «Дуоформер Т»

Важливою складовою частиною формуючої частини ПРМ є сітки. Вони слугують зв'язувальними ланками між окремими елементами формуючої частини,

на сітці відбувається формування та зневоднення паперового полотна. Верхня сітка розтягнута між формуючим валом та гауч-валом. Її натяг регулюється відповідним механізмом, розташованим біля гауч-валу, на ділянці, вільній від паперового полотна. Нижня сітка розтягнута між грудним та сітководучим валами.

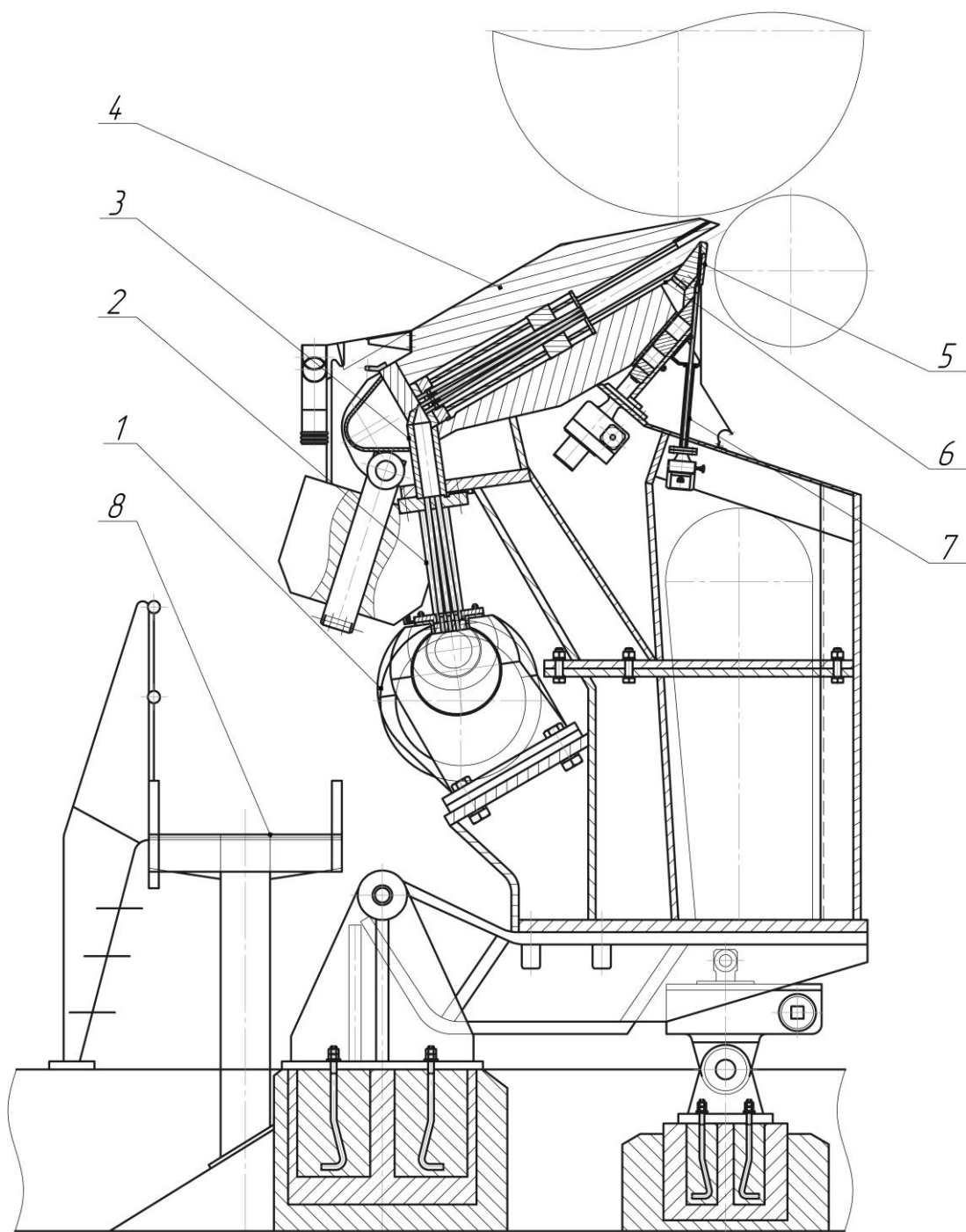
Масонапускний пристрій гідродинамічного типу (рисунок 3.2) призначений для рівномірного напуску паперової маси між сітками. Він застосовується з метою розширення потоку маси до робочої ширини машини, гасіння пульсацій маси, забезпечення її однорідної концентрації та усунення флокуляції волокон, турбулентного руху маси, завихрень в потоці та поперечних струменів, напуску маси на сітки, що рухаються, зі швидкістю, близькою до швидкості машини, а також для забезпечення сталої витрати і концентрації паперової маси по ширині напуску.

Підготовлена та очищена паперова маса зі швидкістю 3 м/с поступає в колектор конічної форми, прохідний діаметр якого становить 525 мм. Із конічного розподільвача потоку (колектора) маса надходить у блок патрубків із відносно малим поперечним перерізом на вході і відносно великим на виході.

Після проходження блоку патрубків маса спочатку надходить у камеру вирівнювання (заспокоювання) потоку. Потім через перфоровану плиту надходить в канали, утворені тонкими пластинами, розташованими в горизонтальній площині та закріпленими одним кінцем у плиті. Протилежні незакріплені кінці доходять практично до масонапускної щілини та утворюють рухому систему, яка гасить завихрення в масі. Ширину напускної щілини можна змінювати за допомогою регулювального механізму.

Для даного типу масонапускного пристрою характерні простота конструкції, відсутність внутрішніх обертових деталей та малий об'єм маси, що знаходиться під тиском.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

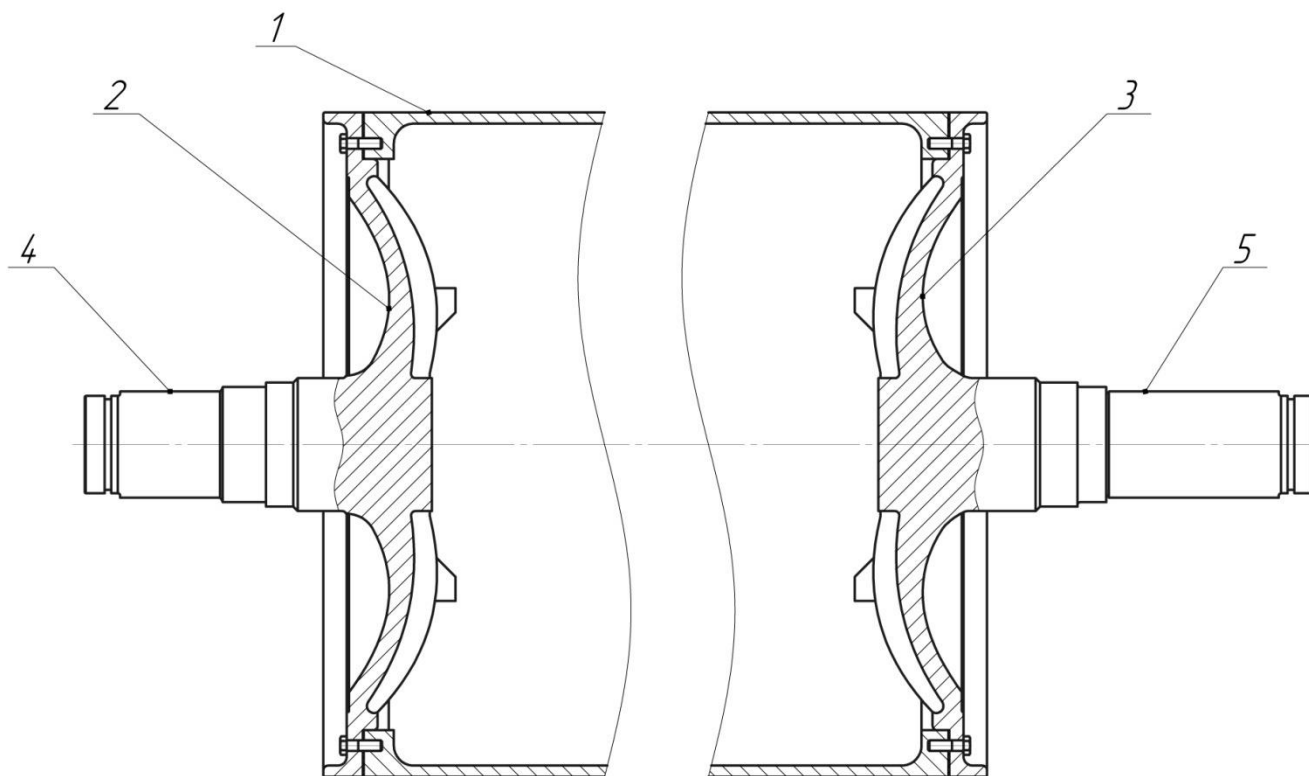


1 – колектор, 2 – блок патрубків, 3 – камера вирівнювання (заспокоювання) потоку, 4 – плита, 5 – нижня губа, 6 – пластини, 7 – механізм регулювання положення нижньої губи, 8 – обслуговуючі сходи

Рисунок 3.2 масонапускний пристрій гідродинамічного типу

Формування паперового полотна починається на перфорованому формуючому валові (рисунок 3.3), який огинається двома сітками. В зазорі,

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30



1 – перфорована оболонка, 2 – кришка лицьова, 3 – кришка приводна, 4 – цапфа,
5 – цапфа приводна

Рисунок 3.3 – Формуючий вал

утвореному формуючим та грудним валами, куди подається маса, виникає тиск. Під його дією вода відводиться в обох напрямках: через зовнішню сітку та перфорацію валу, куди відводиться волога від внутрішньої сітки. Формуючий вал складається із перфорованої оболонки, кришки лицьової та приводної, приводної та не приводної цапф.

Вода, що відводиться через зовнішню сітку, збирається у встановленому ковпаку та відводиться на доочищення або розбавлення маси. Вода, що відводиться через жолобки формуючого валу, стікає з його поверхні у збірник, встановлений під валом, та відводиться аналогічно попередній.

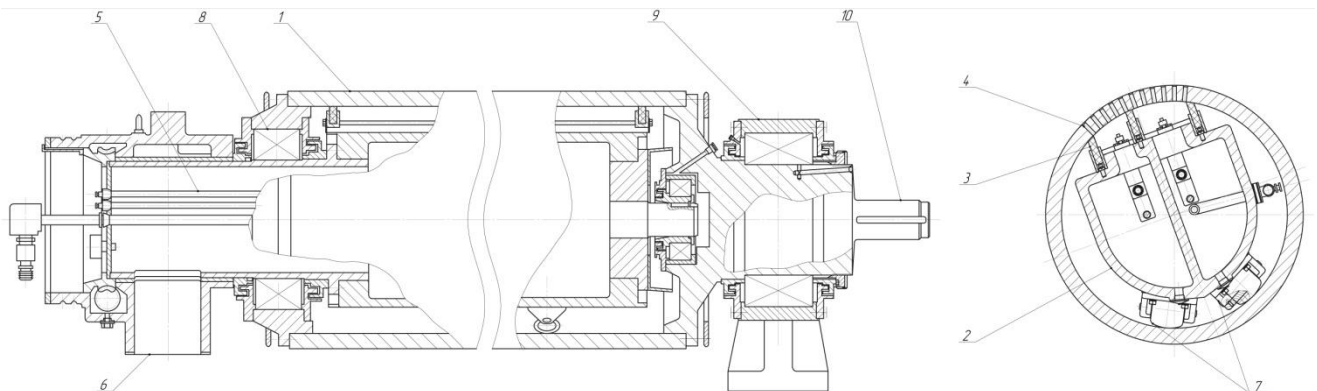
Застосування перфорованого формуючого валу забезпечує достатній рівень утримання компонентів маси на сітці та має наступні переваги:

- забезпечення стабільно однорідного потоку маси;
- сталість поперечного профілю паперу завдяки надійній опорі сітки в

області формуючого вала;

- здатність розвивати високу швидкість процесу зневоднення;
- простота в обслуговуванні.

Рух нижньої сітки здійснюється від приводного валу, яким є гауч-вал. Окрім того, ним завершується зневоднення паперового полотна на формуючій частині. Схема двокамерного відсмоктувального гауч-валу зображена на рисунку 3.4.



- 1 – оболонка, 2 – вакуум-камери, 3 – ущільнення вакуум-камер, 4 – наскрізні отвори оболонки, 5 – повітропровід для пневматичного притискання камер, 6 – повітропровід, 7 – ролики для переміщення вакуум-камер, 8 – підшипниковий вузол відсмоктувальної камери, 9 – підшипниковий вузол гауч-валу, 10 – цапфа привідна

Рисунок 3.4 – Відсмоктувальний гауч-вал

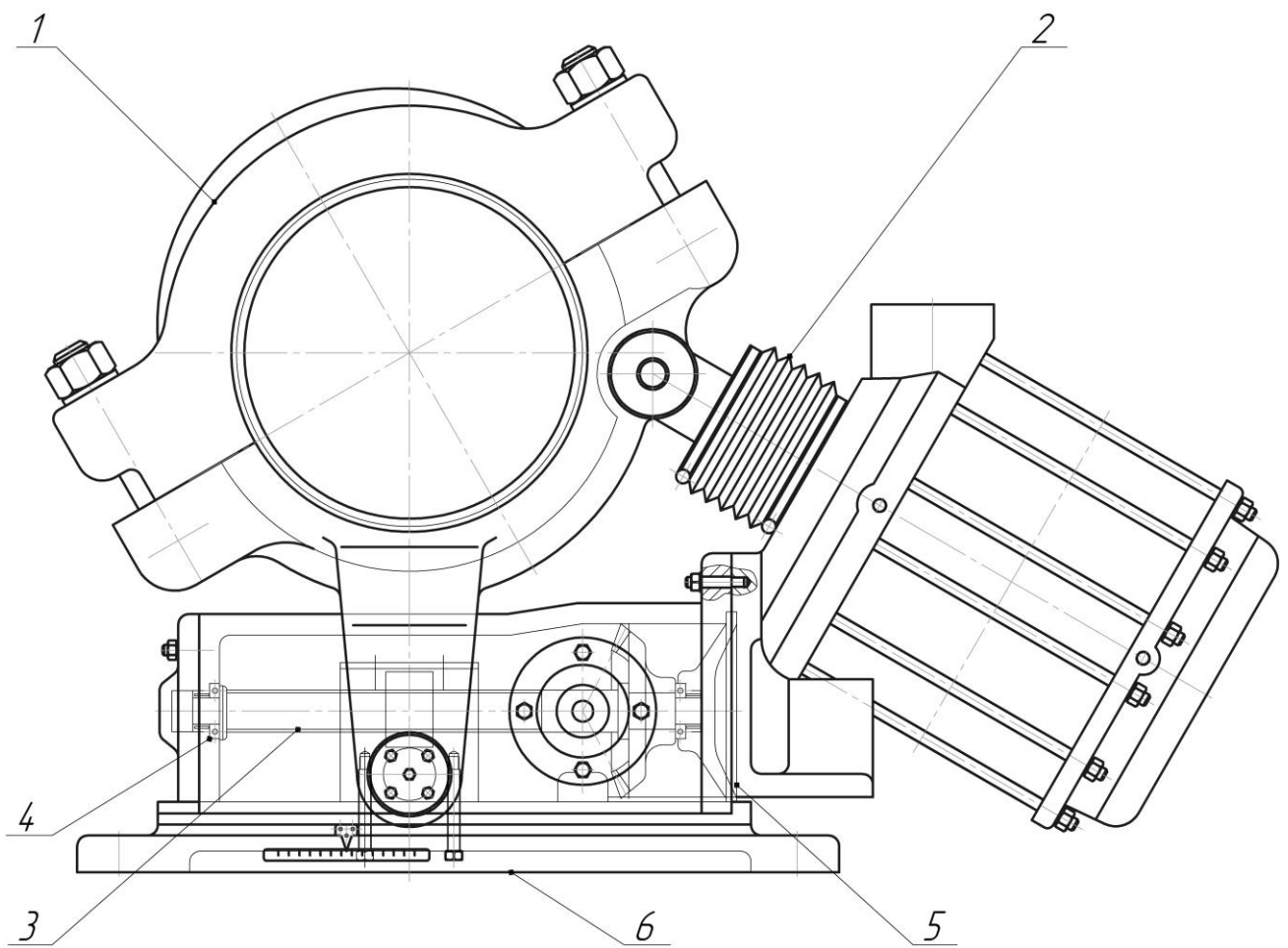
Гауч-вал складається із перфорованого циліндра, що обертається, всередині якого знаходиться нерухомі відсмоктуючі камери та механізми очищення внутрішньої оболонки. Застосування двокамерного відсмоктувального гауч-валу зумовлено тим, що ПРМ розвиває високу робочу швидкість – від 10 до 20 м/с. Одна вакуум-камера більша за розмірами, ніж інша. Це дозволяє здійснити поступове підвищення величини вакууму, яка доходить у вузькій камері 70-80 кПа, а в широкій підтримується на рівні 40-50 кПа.

До циліндру відсмоктуючого валу з лицьового боку болтами прикріплена пустотіла кришка із цапфою, через яку проходить відповідний патрубок відсмоктувальної камери. З приводного боку циліндру закріплена кришка.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

На поверхні оболонки розташовані наскрізні отвори діаметром 8 мм. Живий переріз отворів з врахуванням зенкерування складає 50-60% від площі поверхні циліндра. З метою зменшення шуму, який виникає при роботі відсмоктувального гауч-валу, отвори в оболонці нарізаються по спіралі.

В процесі роботи сітки, що рухаються дещо зміщуються перпендикулярно ходу відносно осі ПРМ на лицьовий бік або на приводний, що може призвести до пошкодження їх кромки. Тому для підтримання сіток в середньому положенні – симетрично відносно осі машини – встановлено правильний механізм (сіткоправку) на неробочій гілці сітки, схем якої наведено на рисунку 3.5.



1 – вал сіткоправильний, 2 – пневмоциліндр, 3 – вал регулювальний,
4 – підшипниковий вузол валу регулювального, 5 – маховик, 6 – корпус

Рисунок 3.5 – Сіткоправка пневматична

Сіткоправку застосовують через наявність на формуючій частині перепадів

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

тисків, нерівномірного подовження сіток, різної концентрації маси по ширині ПРМ.

Вона складається із валу сіткоправильного, пневмоциліндру, валу регулювального, підшипникового вузла валу регулювального, маховика та корпусу. Підшипник валу сіткоправильного закріплений шарнірно, тому може переміщуватися від середнього положення приблизно на 100-150 мм. Вал переміщується за допомогою маховика.

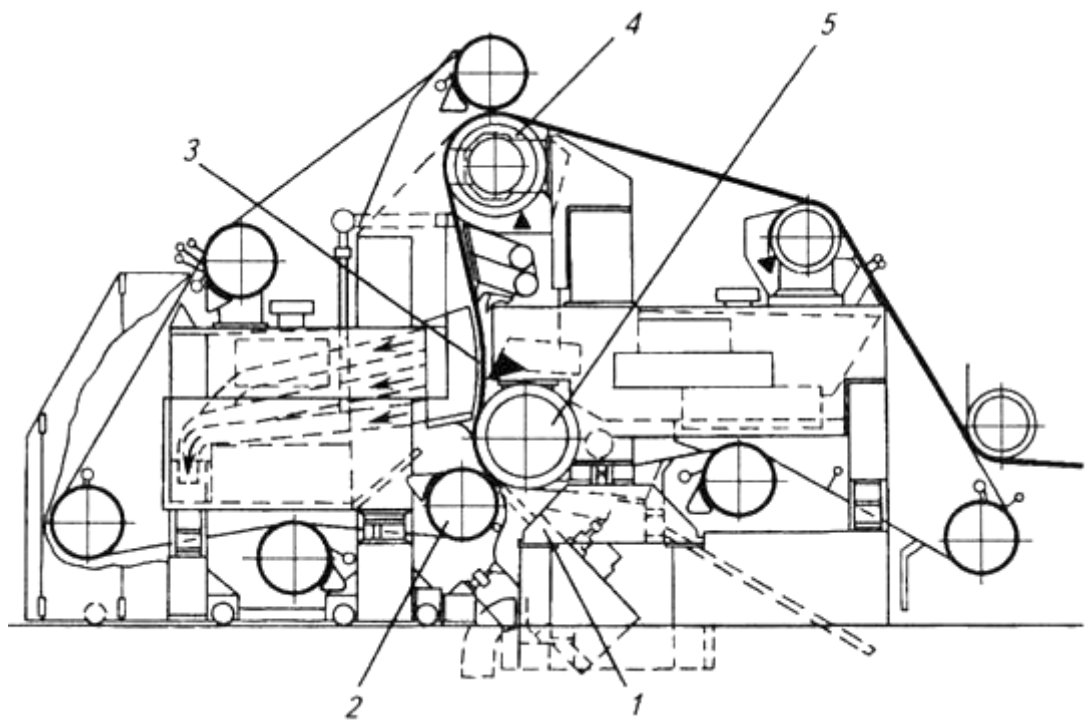
В якості виконавчого механізму використовується автоматичний пневмобалон. Застосування пневматичної сітко правки у конструкції формуючої частини ПРМ дозволяє знизити потужність, яка для неї необхідна , знизити витрати електроенергії, зменшити зношування сітки, підвищити якість паперу, забезпечуючи своєчасний контроль правки сітки під час роботи ПРМ, при цьому залишивши можливість для ручного натягу та правки сітки.

3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами

Найближчими аналогами до конструкції двосіткової формуючої частини, що розробляється у магістерській дисертації, є формуючі пристрої з подаванням паперової маси в зазор між сітками системи GapFormer. Відсутність відкритої зони формування у них підвищує стабільність маси 1 м² паперу. Це характерно для всіх пристроїв системи Gap Former, незалежно від того, чи застосовуються в якості зневоднюючих елементів формуючий вал, нерухомі планки або їх комбінація.

Баланс між формуванням та утриманням паперової маси на сітці без застосування додаткових елементів, дотриманий в формувальному пристрої SpedFormer ХС системи GapFormer компанії «Valmet», схема якого зображена на рисунку 3.6.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34



1 – масонапірний пристрій, 2 – грудний вал, 3 – зневоднювальний башмак, 4 – гауч-вал, 5 – формуючий вал

Рисунок 3.6 – Схема формуючого пристрою SpedFormer XC компанії «Valmet»

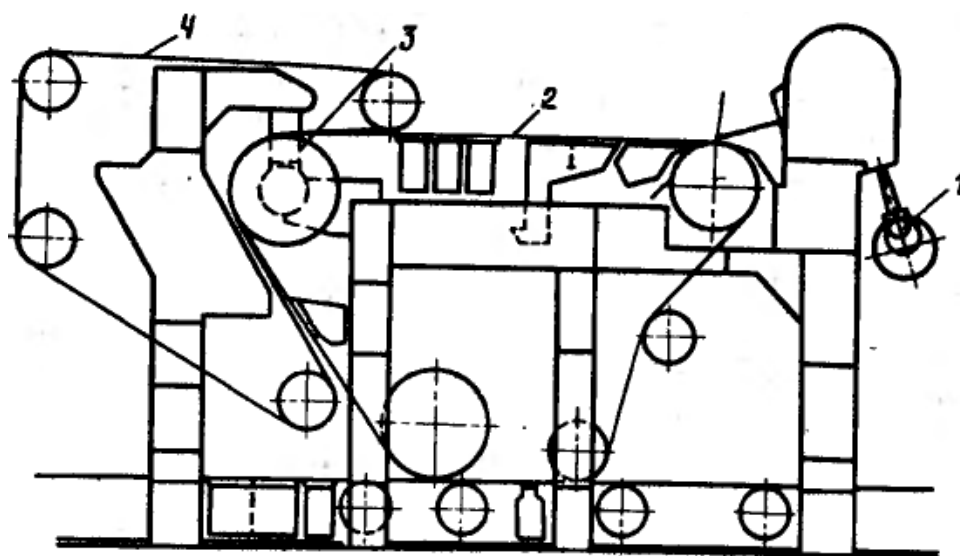
Основними зневоднювальними елементами машини SpedFormer XC є формуючий вал, який застосовується для початкового зневоднення і вакуумний формуючий башмак з дефлектором. Застосування формуючого валу для зневоднення забезпечує високий рівень утримання волокна на сітці, проте процес формування не завжди відповідає необхідним вимогам. При застосуванні нерухомих елементів виходить процес формування виходить сталим, проте знижується рівень утримання компонентів на сітці.

До переваг конструкції відноситься можливість розвивати високу швидкість машини – до 1000 м/хв, процес видалення води характеризується рівномірністю та відбувається через обидві сітки.

До недоліків відносяться великі витрати електроенергії (до 350 кВт) за яких видаляється недостатня кількість води із паперового полотна.

На рисунку 3.7 наведено схему формуючого пристрою «DuoFormer K».

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35



1 – масонапускний пристрій, 2 – внутрішня сітка, 3 – формуючий вал,
4 – зовнішня сітка

Рисунок 3.7– Схема формуючого пристрою типу «DuoFormer K», розробленого компанією «Voith»

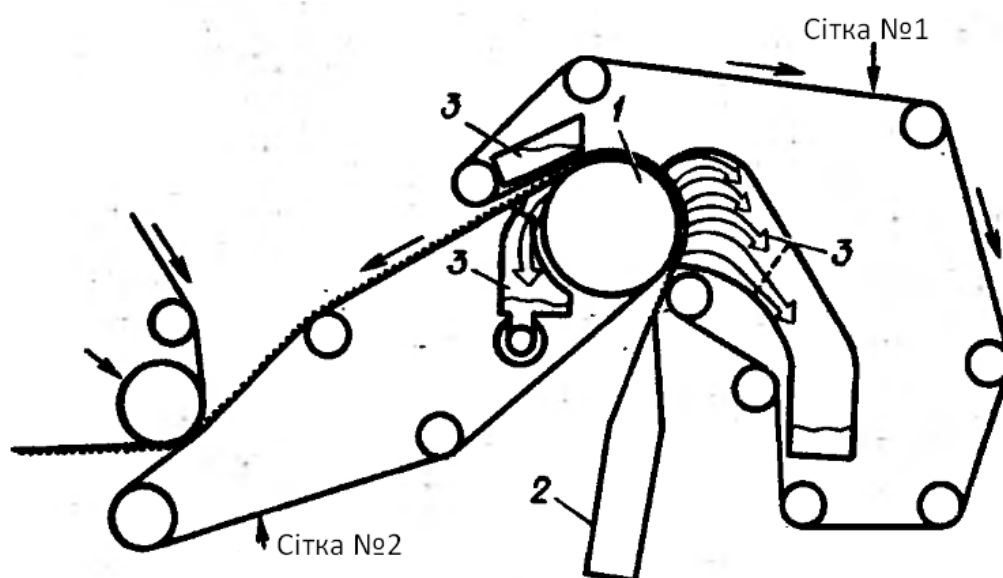
Формуючий пристрій типу «DuoFormer K» працює наступним чином. Волокниста суспензія подається із масонапускного пристрою турбулентного типу на коротку внутрішню сітку. Початкова зона формування – відкрита і маса, що подається, зневоднюється за напрямком вниз за допомогою зневоднюючих елементів. На другій стадії процес зневоднення проходить між двома сітками, що огинають формуючий вал, за рахунок притискання сіток, гравітаційних та відцентрових сил. Зовнішня сітка одночасно виконує вирівнюючу функцію, що дає можливість працювати при більш високих концентраціях, ніж на звичайних сітках, із збереженням якості формування. При цьому покращується утримання компонентів волокнистої суспензії та підвищується якість паперу, що виготовляється на машині.

Порівняно із звичайною (плоскосітковою) формуючою частиною, за умов використання однакової потужності та виготовлення однакових типів паперу, «DuoFormer K» надає можливість зменшити забруднення оборотних вод та зменшити витрати потужності. Дана конструкція випробувана в роботі на різних

волокнистих напівфабрикатах: хвойній целюлозі вибіленій та невибіленій, целюлозі із суміші листяних порід, деревній масі, термомеханічній масі, макулатурі та ін. Діапазон швидкостей 400-1200 м/хв, маса 1 м² 15-400 г/м².

Формуючий пристрій типу «DuoFormer K» встановлений на папероробній машині з обрізною шириною 4250 мм для виготовлення різних видів одно- та багатошарового паперу та картону.

На рисунку 3.8 наведено схему конструкції двосіткової формуючої частини компанії «Beloit Corporation» для виготовлення санітарно-гігієнічних видів паперу.



1 – формуючий вал, 2 – масонапускний пристрій, 3 – збірники води
Рисунок 3.8 – Схема двосіткової формуючої частини компанії «Beloit Corporation»

Потік маси направляється із масонапускного пристрою в щілину між двома сітками, формування відбувається на гладкому формуючому валові, діаметром 1520 мм. Більша частина води відводиться через сітку №1 під дією відцентрової сили і натягу самої сітки. Ця вода направляється під дією поворотних лопатей у великий лоток пастки. По поверхні формуючого валу наявні дві області відводу води і відповідні збірники. Максимальний натяг сітки 10,5 кН/м. Очистка сіток проводиться в зоні зворотного ходу в нижньому положенні. Діапазон маси 1 м²

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

паперу від 12 г/м² до 47 г/м² за відповідних швидкостей ПРМ 1900м/хв та 975 м/хв. Ці значення можуть змінюватися залежно від ступеня розмелювання маси.

Конструкція формуючої частини компанії «Beloit Corporation» є універсальною, оскільки забезпечує різні варіанти формування. Застосування напірного ящика типу Стратафло дає можливість виготовляти на цій машині двошаровий лист. В якості формуючого валу можна застосовувати відсмоктувальний вал.

Запропонована в магістерській дисертації конструкція двосіткової формуючої частини типу «Дуоформер Т» найбільш схожа із аналогами, до яких належать SpedFormer ХС компанії «Valmet», Фінляндія, «DuoFormer К» компанії «Voith», Німеччина та двосіткова формуюча частина компанії «Beloit Corporation»,

Порівняльна характеристика основних показників двосіткової формуючої частини ПРМ, що розробляється, із аналогами наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика основних показників двосіткової формуючої частини ПРМ, що розробляється, із аналогами

Параметр	Констру- кція, що проекту- ється	Sped- Former ХС	Duo- Former К	Beloit Corp.
Максимальна робоча швидкість машини, м/хв, (бали)*	900 (1)	1000 (2)	1200 (3)	1900 (3)
Обрізна ширина паперу, м, (бали) *	4,25 (3)	4,2 (2)	4,25 (3)	4,2 (2)
Ширина паперу на накаті, м, (бали) *	4,3 (3)	4,3 (3)	4,3 (3)	4,3 (3)
Продуктивність машини (при масі паперу 25 г/м ²), кг/год, (бали) *	5450 (3)	5250 (2)	5450 (3)	5450 (3)

Продовження таблиці 3.1

Сухість полотна після формуючої частини, %, (бали)*	25 (3)	24 (2)	24 (2)	24,5 (2)
Витрати електроенергії, кВт, (бали)*	200 (3)	250 (2)	275 (1)	250 (2)
Сума балів	16	13	15	15

* Максимальний бал за основні показники формуючих частин дорівнює 3. Мінімальний бал – 1.

Висновки: враховуючи, що формуюча частина, що проектується, отримала більшу кількість балів і забезпечує високу продуктивність та сухість паперового полотна, при цьому витрати електроенергії менші, ніж в аналогічних конструкцій, то доцільно використовувати запропонований тип формуючої частини.

3.3 Вибір матеріалів елементів конструкції

Аналіз конструкції та умов експлуатації формуючої частини показав, що при виборі конструкційних матеріалів для виготовлення її вузлів необхідно враховувати наступні чинники:

- призначення та конструкційне виконання деталей, складальних одиниць та виробів;
- умови роботи (тиск і температура робочого середовища, ступінь її корозійної активності), характер прикладання навантажень (статичний, непостійний, циклічний);
- механічні характеристики матеріалу за заданих умов експлуатації;
- вартість матеріалу (з врахуванням економного використання легуючих елементів);
- можливість забезпечення поставки матеріалів металургійною промисловістю [10].

Сітки формуючої частини є важливим елементом конструкції. Від їх якості залежить якість паперу, що виготовляється та ефективність роботи ПРМ в цілому. До сіток пред'являються наступні вимоги, виконання яких гарантує успішне виконання ними технологічних функцій:

- корозійна стійкість;
- висока стійкість до розривання, згинання та стирання;
- достатня щільність структури;
- хороша водопроникаюча здатність.

Сітки характеризуються наступними технічними показниками: номер сітки, матеріал з якого вона виготовлена, тип переплетіння, товщина ниток, розмір комірок та їх кількість на 1 см². Номер сітки відповідає числовому значенню кількості ниток основи на 1 см² ширини сітки. Для виготовлення тонких видів паперу, зокрема санітарно-гігієнічного (масою 1 м² 15 – 35 г) рекомендуються сітки з номерами 28 – 32 [11].

Сітки формуючої частини виготовляють із синтетичних волокон, що характеризуються наступними показниками:

- забезпечення необхідного рівня зневоднення;
- відсутність маркування паперу від сітки;
- зменшення енергоспоживання приводу ПРМ;
- тривалий термін служби;
- мінімальний розтяг у поздовжньому напрямку.

Синтетичні сітки виготовляють із високоміцного поліефірного, поліамідного та поліетиленового та ін. волокон, що піддаються спеціальній термічній обробці, із покриттям із синтетичних смол для підвищення стійкості до стирання [11].

Корпуси та оболонки валів формуючої частини відливаються з чавуну, марки СЧ30, оскільки вироби, виготовлені з цього матеріалу, мають досить високу міцність і зносостійкість при роботі в умовах тертя і характеризуються

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

меншою, ніж сталь, чутливістю до концентраторів механічних напружень. Сірий чавун марки СЧ30 має ряд переваг, серед яких невисока вартість, добрі ливарні властивості, а також здатність активно поглинати механічні коливання, вібрації. Тому він широко використовується для виготовлення станин верстатів, пресів та іншого машинобудівного обладнання і може бути використаний як матеріал для виготовлення корпусів валів ПРМ та КРМ [12].

Зовнішні поверхні відлитих валів формуючої частини оброблюються, після чого на оброблені поверхні наноситься гумове покриття. Вали формуючої частини покриті гумовою оболонкою, товщиною 50 мм та твердістю 20 – 40 од. ТШМ.

В корпуси валів запресовані цапфи, на які установлюють підшипники роликові радіальні сферичні дворядні ГОСТ 5721-75. Підшипники знаходяться в корпусах, а корпуси з обох сторін закриваються кришками. Кришки торцеві з жировими канавками ГОСТ 18513-73 призначені для герметизації підшипникових вузлів, осьової фіксації підшипників та сприйняття осьового навантаження. В якості ущільнення використовується конденсатне мастило, яке заповнює жирові канавки кришки. Кришки підшипникових вузлів між собою кріпляться за допомогою болтів. Матеріал, з якого виготовлено кришки – чавун марки СЧ25 ГОСТ 1412-85.

Цапфи валів виготовлені зі сталі конструкційної легованої марки 40Х ГОСТ 4543-71, що застосовується для покращених деталей підвищеної міцності. При своїй меншій питомій масі сталь 40Х, порівняно з високовуглецевими сталями, забезпечує оптимальну збалансованість міцності та твердості для валів, цапф, осей та ін. [12].

3.4 Патентний огляд конструкцій основного обладнання конструкції

Мета пошуку інформації – визначення патентної спроможності відсмоктувального валу двосіткової формуючої частини ПРМ, що проектується, та визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці. У додатку В

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

систематизована документація до патентного дослідження.

Об'єктами патентного пошуку є конструкції:

- 1) формуючої частини ПРМ;
- 2) відсмоктувального валу формуючої частини;
- 3) системи очищення оболонки відсмоктувального валу формуючої частини.

Держави пошуку: Україна, США, Канада, Німеччина, Китай.

Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 1999 – 2018.

Класифікаційні індекси:

- міжнародна патентна класифікація: D21F 1/00, D21F 1/48, D21F 3/10 (2006.01).

- уніфікована десяткова класифікація: УДК 676.056, 676.056.23/.27, 676.056.23, 676.056.32.

Джерела інформації:

- патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Держпатенту України та відкритих патентних відомств США, Канади, Німеччини, Китаю.

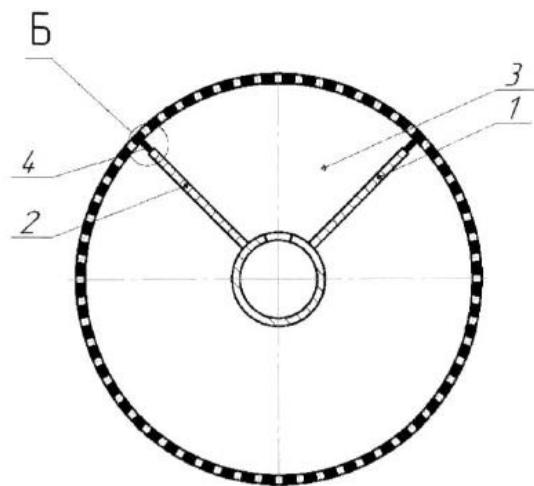
- науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з проектування обладнання целюлозно-паперових виробництв.

Суттєвими ознаками відсмоктувального валу формуючої частини ПРМ є: перфорована оболонка, вакуум-камера, система очищення перфорованої оболонки.

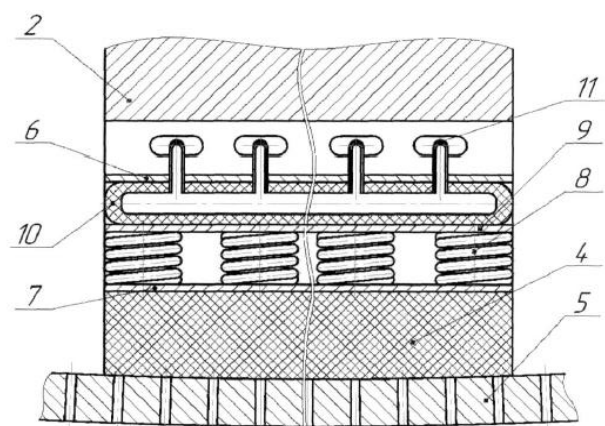
Усі відомості про джерела та результати пошуку наведені у додатку В.

У патенті [13] представлений відсмоктувальний вал (рисунок 3.9), що складається із перфорованої оболонки, відсмоктувальної вакуум-камери з перегородками та ущільнень переднього та заднього за ходом обертання вала. Ущільнення між перегородкою та внутрішньою поверхнею перфорованої оболонки вала розміщені на пружних елементах. Ці елементи опираються на платформу, під якою знаходиться пустотіла камера, що може змінювати розміри.

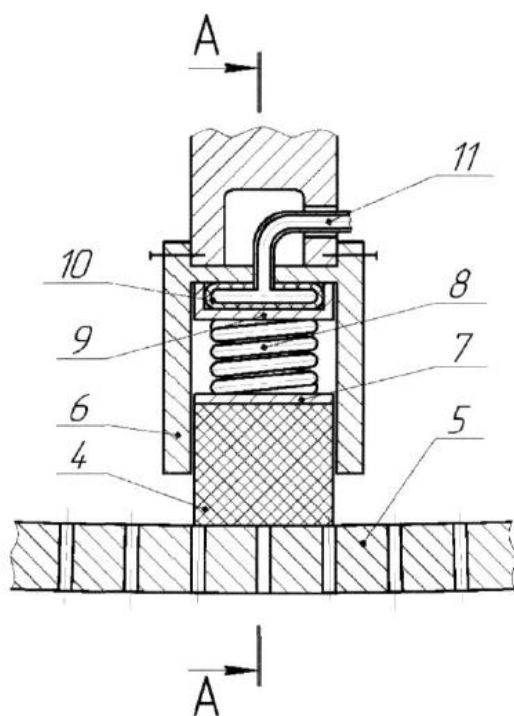
					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



Фіг. 1



Фіг. 3



Фіг. 2

Фіг.1 – схема відсмоктувального вала із вакуум-камерами,

Фіг. 2 - конструкція притискання ущільнення,

Фіг.3 – поперечний переріз конструкції притискання ущільнення

1, 2 – ущільнення вакуум-камери, 3 – вакуумна камера, 4 – ущільнення, 5 – перфорована оболонка, 6 – направляючі ущільнення, 7 – платформа, 8 – пружні елементи, 9 – П-подібна платформа, 10 – пружна камера, 11 – патрубок

Рисунок 3.9 – Відсмоктувальний вал із ущільненням за допомогою пружних елементів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛБ71.705411.001 ПЗ

Арк.

43

Недоліками конструкції є відсутність системи очищення валу, що призводить до засмічення перфорації паперовим волокном і, як результат, необхідність частої зміни пружин, викликана посиленням зношуванням та втратою їх пружних властивостей. Також це зменшує інтенсивність зневоднення.

У патенті [14] представлений відсмоктувальний вал (рисунок 3.10), який складається з перфорованої оболонки, відсмоктувальної вакуум-камери з перегородками та ущільненнями, патрубка з однією або декількома форсунками та пустотілої камери. Всередині перфорованого вала розміщено патрубок для підведення стиснутого рідкого або газоподібного носія. Патрубок закінчується однією або декількома форсунками, направленими на внутрішню поверхню перфорованої оболонки. Навпроти форсунок, з іншого боку оболонки перфорованого вала, розміщено пустотілу камеру зі створеним в ній розрідженням, яку направлено відкритою стороною в напрямку форсунок.

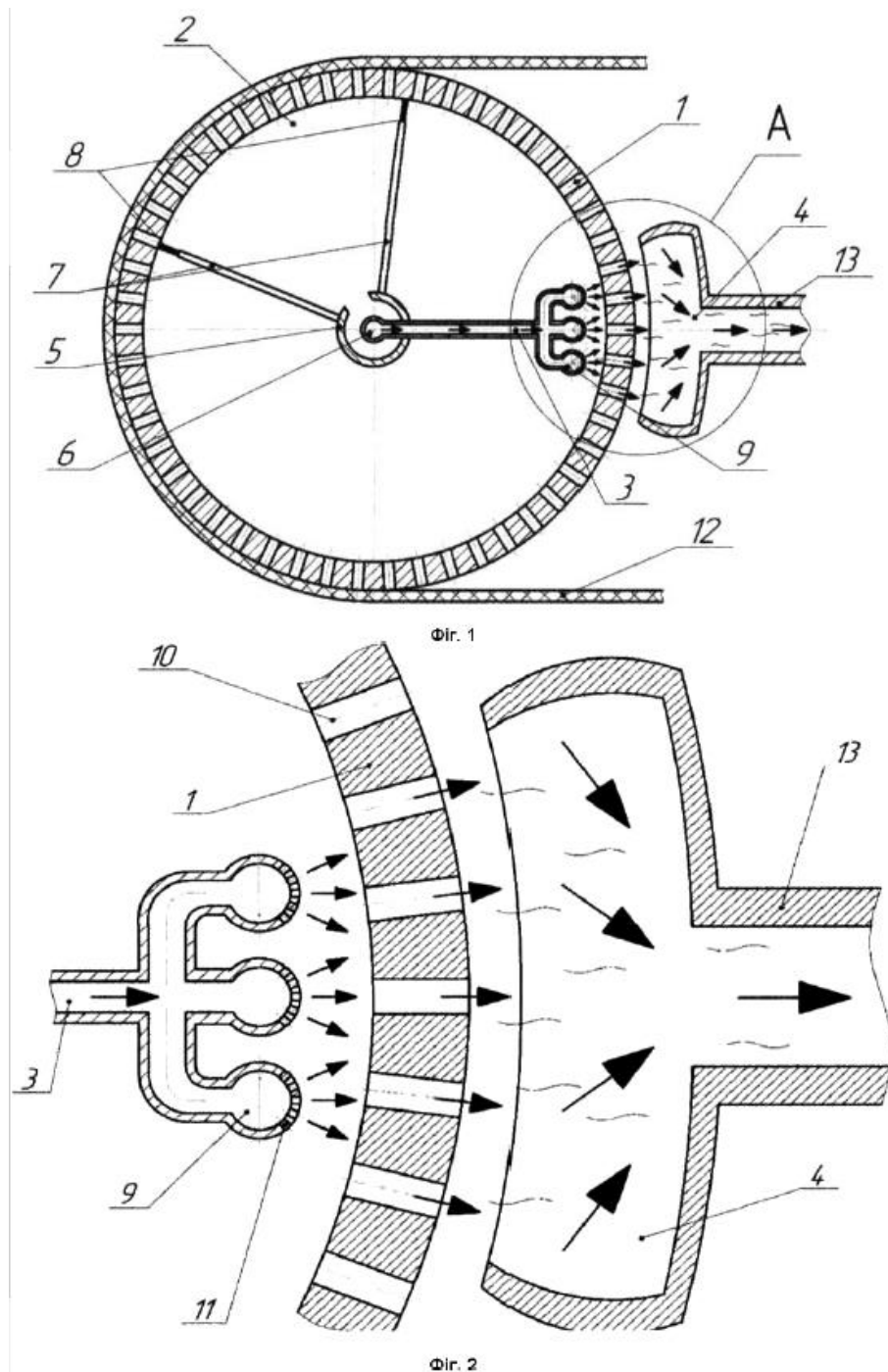
Недоліком даної конструкції є ймовірність недостатнього очищення внутрішньої оболонки перфорованого валу через можливе нашарування паперових волокон в проміжках між перфорацією оболонки.

У патенті [15] представлений відсмоктувальний вал (рисунок 3.11), що складається із рухомої оболонки, яка обертається, зовнішня поверхня якої перфорована отворами та нерухому відсмоктувальну камеру з поздовжніми і радіальними ущільненнями. Полімерна сітка, торці якої закріплені муфтами, розміщена на зовнішній поверхні рухомої оболонки.

Недоліками конструкції є відсутність системи очищення валу, що призводить до засмічення перфорації паперовим волокном і, як результат, недостатній рівень відсмоктування води із паперового полотна та необхідність частої зупинки ПРМ для налагодження його роботи.

У патенті [16] представлений спосіб отримання целюлозного полотна на папероробній машині, в якій волокнистий напівфабрикат зневоднюється на конструкції Twin Wire Former, що призначена для формування паперового полотна. Схему конструкції наведено на рисунку 3.12.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44



Фіг.1 - схема перфорованого вала, Фіг.2 – конструкція системи підводу і відводу стиснутого рідкого чи газоподібного носіїв

1 – перфорована оболонка, 2 – вакуумна камера, 3 – патрубок, 4 – пустотіла камера, 5 – виріз, 6 – центральна труба, 7 – перегородки, 8 – ущільнення, 9 – форсунки, 10 – отвори перфорованої оболонки вала, 11 – отвори форсунок, 12 – полотно, 13 – трубопровід

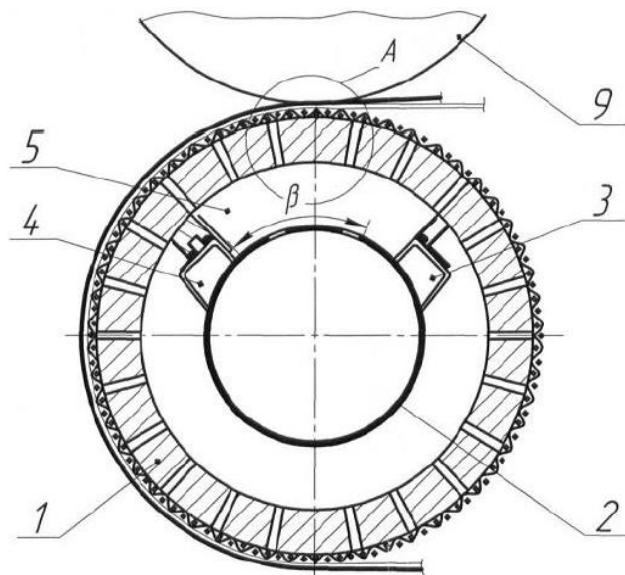
Рисунок 3.10 – Відсмоктувальний вал із системою очищення перфорації

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

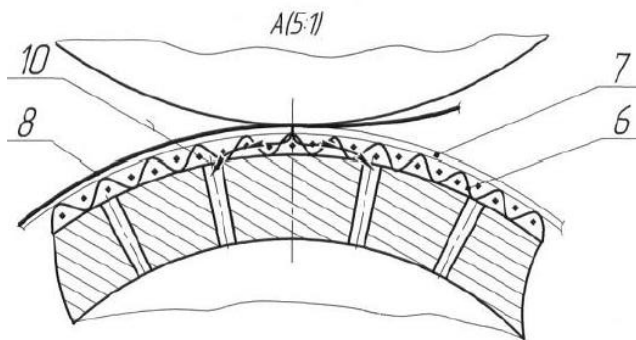
ЛБ71.705411.001 ПЗ

Арк.

45



Фіг. 1



Фіг. 2

Фіг.1 – схема відсмоктуючого валу, Фіг.2 – розріз А на фігурі 1.

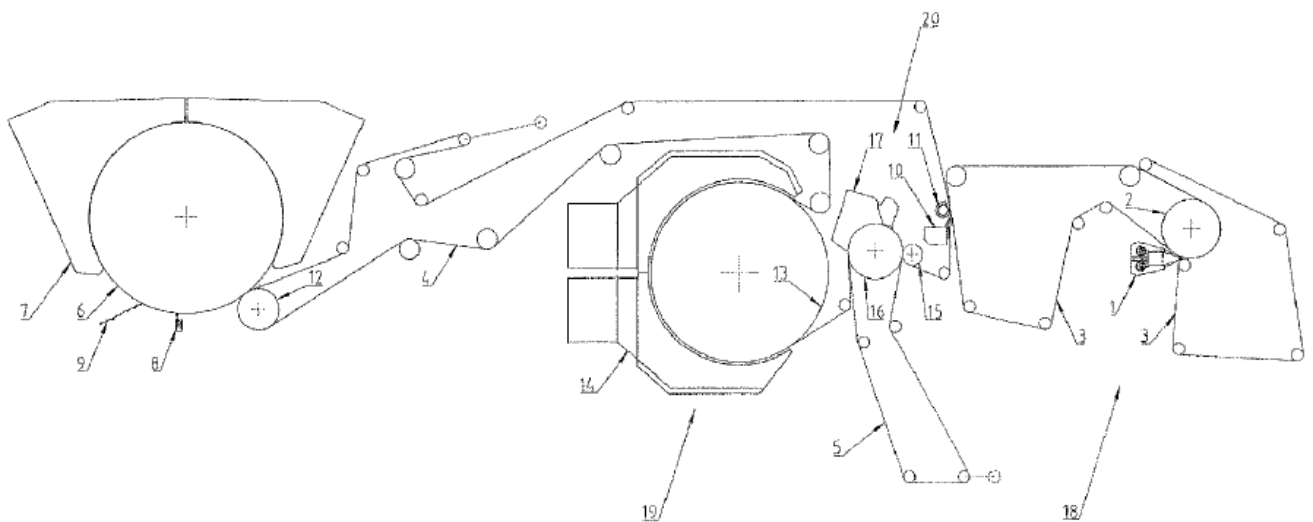
1 – рухома оболонка вала, перфорована отворами, 2 – нерухома відсмоктуюча камера, 3 – перше ущільнення, 3 – друге ущільнення, 5 – камера відсмоктування, 6 – сітки у вигляді панчохи, 7 – пресове сукно, 8 – картонне полотно, 9 – пресовий вал, 10 – потік води

Рисунок 3.11 – Відсмоктувальний вал

Волокнистий напівфабрикат, затиснутий між двох сіток, проходить через зневоднюючий пристрій.

Після конструкції Twin Wire Former розрахований відсмоктувальний вал. Відсмоктувальний вал камерного типу складається із обертового перфорованого циліндру, всередині якого знаходиться нерухома три камери різних розмірів.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



1 – масонапускний пристрій, 2 – відсмоктувальний вал, 3 – сітка, 4 – сукно сушильної частини, 5 – сукно пресової частини, 6 – лоцильний циліндр, 7 – сушильний ковпак

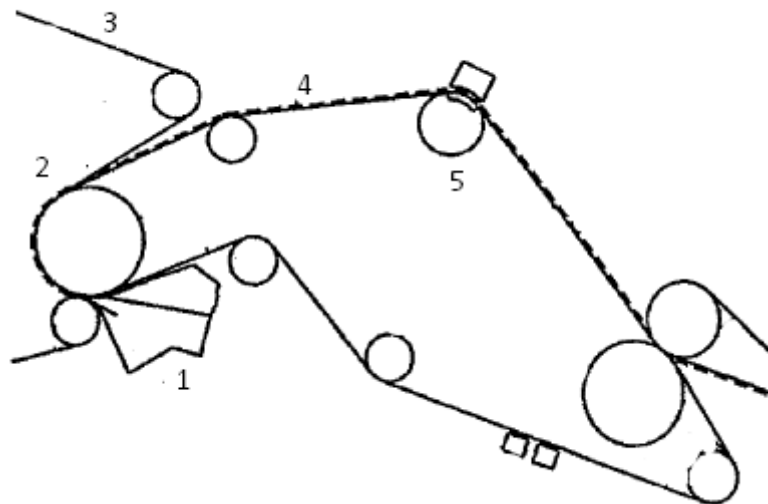
Рисунок 3.12 – Схема конструкції Twin Wire Former

Третя, найменша, камера не перекривається зневоднюючою сіткою та слугує для видалення води із отворів оболонки валу. Оптимальне розташування камер визначається у процесі роботи машини, їх поворот здійснюється спеціальним механізмом.

До недоліків відноситься необхідність лімітування максимальної робочої швидкості, адже на високих швидкостях вода, що видаляється із полотна під тиском вакууму, не встигає потрапити у третю камеру і викидається з отворів оболонки валу відцентровою силою назовні. При цьому вода може потрапляти на паперове полотно або сітку, утворюючи брак в паперові та викликаючи обриви паперового полотна.

У патенті [17] описано конструкцію ПРМ для виготовлення тонких видів паперу, формуючу частину якої зображено на рисунку 3.13.

До складу ПРМ входить відсмоктувальний вал камерного типу, що складається із бронзової перфорованої оболонки, товщина стінки якої 40 мм. В рухому оболонку встановлено чавунну нерухому камеру, шириною 200 мм.



1 – масонапускний пристрій, 2 – формуючий вал, 3 – верхня сітка, 4 – нижня сітка, 5 – відсмоктувальний вал камерного типу

Рисунок 3.13 – Схема формуючої частини ПРМ для виготовлення тонких видів паперу

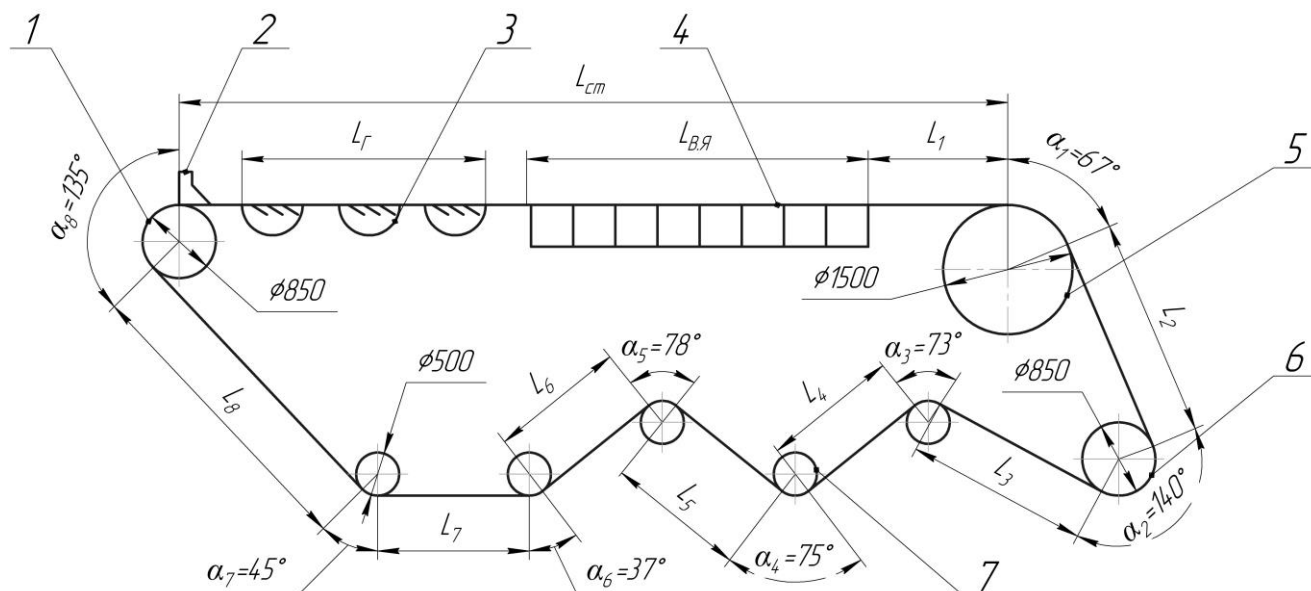
Всередині оболонки встановлено водний сприск для очищення отворів перфорації. З торців камери розташовано рухомі перегородки – декелі, що обмежують камеру по ширині паперу. Вакуум-камеру з'єднано із всмоктуючим трубопроводом потужного вакуум-насоса.

До недоліків конструкції відноситься металоємність та значні витрати енергії на створення вакууму.

4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

4.1 Параметричний розрахунок плоскіткової формуючої частини

Розрахункова схема плоскіткової формуючої частини показана на рисунку 4.1.



1 – грудний вал, 2 – масонапускний пристрій, 3 – гідропланки, 4 – відсмоктуючий ящик, 5 – формуючий вал, 6 – сітконатяжний вал, 7 – сітководучий вал

Рисунок 4.1 – Схема плоскіткової формуючої частини ПРМ

Мета розрахунку – визначення кількості гідропланок та відсмоктуючих ящиків, необхідних для забезпечення заданої сухості паперу, а також довжини сіткового столу та загальної довжини сітки плоскіткової формуючої частини ПРМ та її габаритних розмірів.

Вихідні дані до розрахунку:

Швидкість папероробної машини V , м/с	15
Ширина відсмоктуючих ящиків $l_{\text{ящ}}$, м	0,3
Довжина столу, яку займає формуючий ящик L_c , м	0,14
Тип продукції, що виготовляється	санітарно-гігієнічний папір

Розрахунок виконуємо за методикою, наведеною у [2], [18].

Кількість гідропланок визначається в залежності від типу продукції, що виготовляється та швидкості ПРМ за діаграмою (рисунк 4.2), згідно з [2].



а – папір газетний (та санітарно-гігієнічний), б – папір типографський № 3, в – папір мішечний, г – картон, д – папір тонкий високосортний

Рисунок 4.2 – Графіки залежності кількості гідропланок від швидкості ПРМ

Відповідно до графіку, для ПРМ для виготовлення санітарно-гігієнічного паперу за швидкості 900 м/хв необхідно встановити $n_r = 50$ гідропланок.

Крок гідропланок визначається в залежності від швидкості машини за діаграмою (рисунк 4.3), згідно з [2].

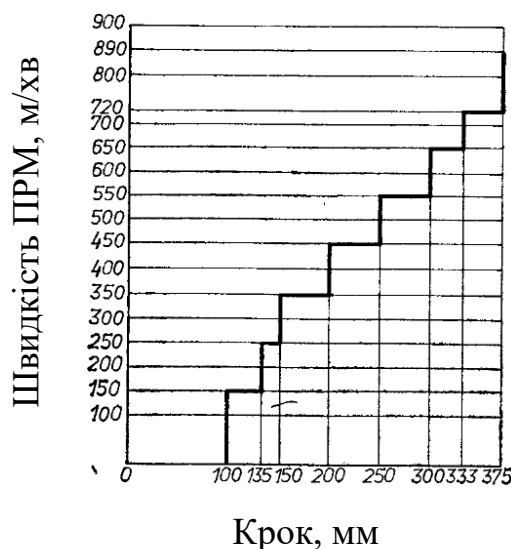


Рисунок 4.3 – Графік залежності найбільшого кроку гідропланок від швидкості ПРМ

Відповідно до графіку, за швидкості ПРМ 900 м/хв для виготовлення санітарно-гігієнічного паперу максимальний крок гідропланок (на початку столу) повинен складати $t = 375$ мм.

Враховуючи обрану кількість гідропланок, доцільно дві перші з них на початку сіткового столу встановити з кроком $t = 375$ мм, а 48 наступних – з кроком $t = 325$ мм.

Довжина сіткового столу, яку займають гідропланки:

$$L_{\Gamma} = \sum_{i=1}^i n_{\Gamma i} \cdot t_i = 2 \cdot 0,375 + 48 \cdot 0,325 = 16,35 \text{ м.}$$

Довжина столу, яку займають відсмоктуючі ящики:

$$L_{\text{в.я}} = n_{\text{в.я}} \cdot l = 8 \cdot 0,3 = 2,4 \text{ м,}$$

де $n_{\text{в.я}}$ – кількість відсмоктуючих ящиків. Згідно з [2], для даних параметрів ПРМ приймаємо $n_{\text{в.я}} = 8$.

Розрахункова довжина сіткового столу:

$$L_{\text{ст}} = L_1 + L_2 = 16,35 + 2,4 = 18,75 \text{ м.}$$

Враховуючи рекомендації, наведені в [2], приймаємо довжину сіткового столу $L_{\text{ст}} = 19$ м.

Для розрахунку довжини сітки плососіткової формуючої частини ПРМ та її габаритних розмірів із конструктивних міркувань прийнято наступні величини:

$$L_1 = 0,9 \text{ м,}$$

$$L_5 = 1,55 \text{ м,}$$

$$L_2 = 2,5 \text{ м,}$$

$$L_6 = 1,55 \text{ м,}$$

$$L_3 = 2,1 \text{ м,}$$

$$L_7 = 1,65 \text{ м,}$$

$$L_4 = 1,55 \text{ м,}$$

$$L_8 = 3,5 \text{ м.}$$

Тоді загальна довжина сітки:

$$L_c = L_{\text{ст}} + \pi D_2 \frac{\alpha_1}{360^\circ} + L_2 + \pi D_3 \frac{\alpha_2}{360^\circ} + L_3 + \pi D_4 \frac{\alpha_3}{360^\circ} + L_4 + \pi D_5 \frac{\alpha_4}{360^\circ} + L_5 + \\ + \pi D_4 \frac{\alpha_5}{360^\circ} + L_6 + \pi D_5 \frac{\alpha_6}{360^\circ} + L_7 + \pi D_6 \frac{\alpha_7}{360^\circ} + L_8 + \pi D_7 \frac{\alpha_8}{360^\circ} =$$

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$\begin{aligned}
&= 19 + \pi \cdot 1,5 \frac{67^\circ}{360^\circ} + 2,5 + \pi \cdot 0,85 \frac{140^\circ}{360^\circ} + 2,1 + \pi \cdot 0,5 \frac{73^\circ}{360^\circ} + 1,55 + \\
&+ 1,55 + \pi \cdot 0,5 \frac{78^\circ}{360^\circ} + 1,55 + \pi \cdot 0,5 \frac{37^\circ}{360^\circ} + 1,65 + \pi \cdot 0,5 \frac{45^\circ}{360^\circ} + \\
&+ 3,5 + \pi \cdot 0,85 \frac{135^\circ}{360^\circ} = 38 \text{ м.}
\end{aligned}$$

Габаритні розміри плоскіткової формуючої частини ПРМ, визначені складають: висота – 4,25 м, довжина – 11,75 м, ширина – 6,5 м.

Висновок: згідно розрахунку, для ПРМ для виготовлення санітарно-гігієнічного паперу за швидкості 900 м/хв для забезпечення необхідної сухості паперу слід встановити 50 гідропланок та 8 відсмоктувальних ящиків. Довжина сітки плоскіткової формуючої частини ПРМ складає 38 м, а ширина – 4,8 м. Габаритні розміри: довжина – 13,75 м, ширина – 7,5 м, висота – 4,25 м.

4.2 Параметричний розрахунок двосіткової формуючої частини

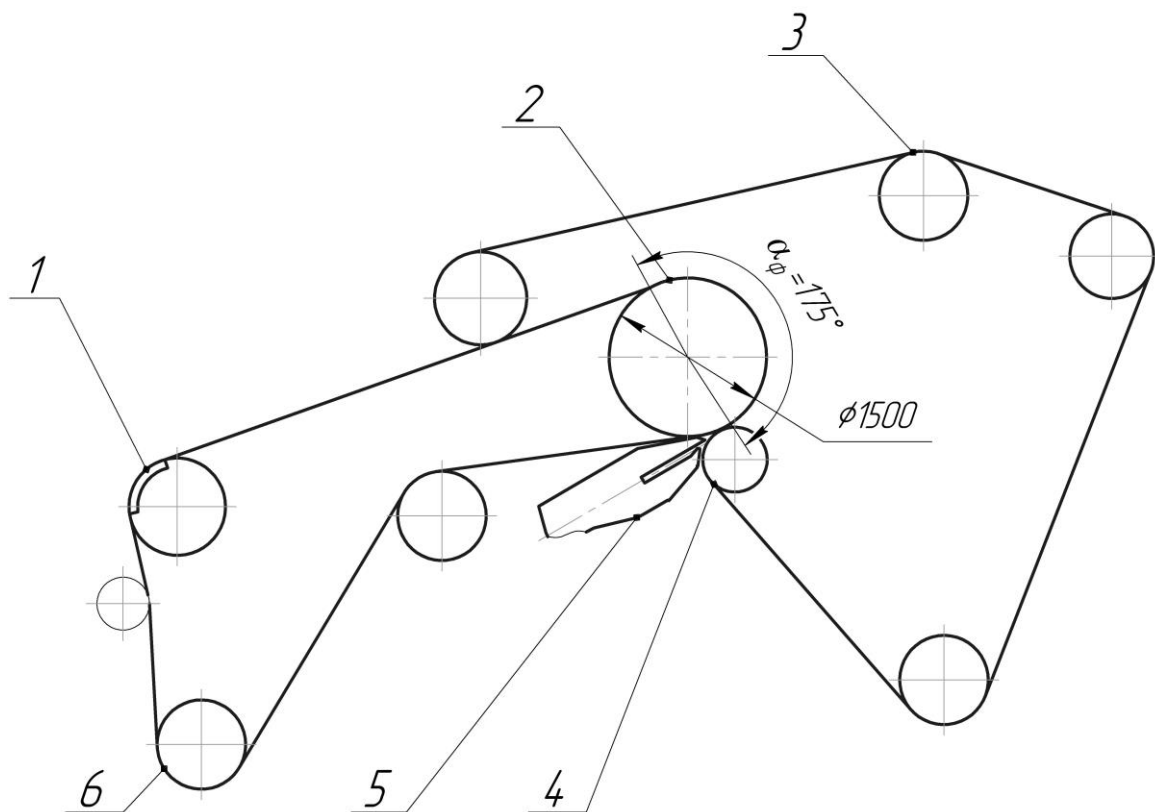
Розрахункова схема плоскіткової формуючої частини показана на рисунку 4.4.

Мета розрахунку – визначення робочої площі ПРМ, необхідної для забезпечення заданої сухості паперу.

Вихідні дані до розрахунку:

Швидкість папероробної машини V, м/с	15
Діаметр формуючого валу, м	1,5
Кут огинання сіткою формуючого валу α	170°
Довжина оболонки формуючого валу $L_{об}$, м	5
Тип продукції, що виготовляється	санітарно-гігієнічний папір

Розрахунок виконуємо за методикою, наведеною у [2], [18].



1 – гауч-вал, 2 – формуючий вал, 3 – сітководучий вал, 4 – грудний вал, 5 – масонапускний пристрій, 6 – сітконатяжний вал

Рисунок 4.4 – Схема двосіткової формуючої частини ПРМ

Розрахункова ширина сітки папероробної машини [7]:

$$B_c = \frac{b}{\varepsilon} + 2(a + d + c) = \frac{4,3}{1 - 0,02} + 2(0,1 + 0,05 + 0,05) = 4,79 \text{ м,}$$

де $b = 4,3$ – необрізна ширина паперу на накаті, м;

$a = 0,1$ – ширина кромки полотна, що відсікається на гауч-валові, м;

$d = 0,05$ – ширина пристрою для обмеження розливання маси при напуску на сітку, м;

$c = 0,05$ – ширина вільних кромки сітки, м;

$\varepsilon = 2$ – усадка полотна в пресовій і сушильній частинах, %.

Приймаємо найближче до стандартного значення ширини сітки папероробної машини $B_c = 4,8$ м.

Оскільки конструкція формуючої частини двосіткова, то і верхня сітка матиме ширину $B_c = 4,8$ м.

Площа робочої поверхні двосіткової формуючої частини:

$$F_{\text{роб}} = \pi D \varphi L_{\text{об}} = \pi \cdot 1,5 \cdot 0,486 \cdot 5 = 11,45 \text{ м}^2,$$

де

$$\varphi = \frac{\alpha}{360^\circ} = \frac{175^\circ}{360^\circ} = 0,486.$$

Продуктивність ПРМ по абсолютно сухому паперу:

$$G = B \cdot V \cdot g \cdot S = 4,25 \cdot 15 \cdot 0,025 \cdot 0,95 = 1,51 \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

де G – продуктивність папероробної машини, кг/с,

B – обрізна ширина паперового полотна, м,

V – швидкість папероробної машини, м/с,

g – маса 1 м^2 паперового полотна, кг/м²,

S – сухість паперового полотна на накаті.

Згідно з [2] питома продуктивність для ПРМ із двосітковою формуючою частиною для виготовлення санітарно-гігієнічного паперу масою $g = 25 \text{ г/м}^2$ та максимальною швидкістю 15 м/с при односторонній фільтрації складає $A_{\text{одн.двосіт}} = 0,1 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$.

Тоді продуктивність 1 м^2 по абсолютно сухому паперу із двосітковою формуючою частиною при односторонній фільтрації:

$$G_{\text{одн.двосіт}} = F_{\text{роб}} \cdot k \cdot A_{\text{одн.двосіт}} = 11,45 \cdot 1,02 \cdot 0,1 = 1,17 \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

де k – коефіцієнт витрат волокна на формуючій частині. $k=1,02$ [2].

Згідно з [2] при забезпеченні процесу двосторонньої фільтрації питома продуктивність по формуванню полотна збільшується вдвічі, тобто

$$A_{\text{двост.двосіт}} = 2 \cdot A_{\text{одн.двосіт}} = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}.$$

Завдяки більшій інтенсивності зневоднення можливо виливати на сітку більшу кількість паперової маси, орієнтовно вдвічі.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді продуктивність 1 м² по абсолютно сухому паперу ПРМ із двосітковою формуючою частиною при двосторонній фільтрації:

$$G_{\text{дв.двосіт}} = F_{\text{роб}} \cdot k \cdot A_{\text{одн.двосіт}} = 11,45 \cdot 1,02 \cdot 0,2 = 2,34 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

При цьому, габаритні розміри ПРМ із двосітковою формуючою частиною при двосторонній фільтрації складають: довжина – 9,75 м, ширина – 7,5 м, висота – 6,2 м.

Оскільки такі показники як швидкість ПРМ, обрізна ширина, маса та кінцева сухість паперу однакові як для плососіткової формуючої частини, так і для двосіткової, то маємо, що продуктивність 1 м² по абсолютно сухому паперу ПРМ із плососітковою формуючою частиною складає:

$$G_{\text{плоск}} = G \cdot k = 1,51 \cdot 1,02 = 1,54 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Отже, маємо наступне:

$$G_{\text{одн.двосіт}} < G,$$

$$G_{\text{дв.двосіт}} > G.$$

Таким чином встановлено, що застосування ПРМ із двосітковою формуючою частиною при двосторонній фільтрації дозволить збільшити продуктивність ПРМ по абсолютно сухому паперу.

Також з'являються можливості для виготовлення санітарно-гігієнічного паперу із більшою, ніж задана, масою квадратного метру (>25 г/м²) з вищою продуктивністю ПРМ (G = 2,27 кг/с) або збільшення обсягів виготовлення санітарно-гігієнічного паперу із меншою за задану масою квадратного метру (< 25 г/м²) за вищої швидкості ПРМ.

Запас по швидкості ПРМ із двосітковою формуючою частиною при двосторонній фільтрації за тієї ж заданої маси квадратного метру (g = 25 г/м²):

$$V_{\text{max дв.двосіт}} = \frac{G_{\text{дв.двосіт}}}{BgS} = \frac{2,34}{4,25 \cdot 0,025 \cdot 0,95} = 22,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запас маси квадратного метру готової продукції ПРМ із двосітковою формуючою частиною при двосторонній фільтрації за тієї ж заданої швидкості ПРМ ($V = 15$ м/с):

$$g_{\max \text{ дв.двосіт}} = \frac{G_{\text{дв.двосіт}}}{BVS} = \frac{2,34}{4,25 \cdot 15 \cdot 0,95} = 0,038 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}.$$

Висновок: в результаті розрахунку встановлено, що застосування двосіткової формуючої частини із двосторонньою фільтрацією дозволяє збільшити продуктивність ПРМ по абсолютно сухому паперу.

4.3 Порівняння технологічних та конструктивних показників плососіткової та двосіткової формуючих частин

Порівняльну характеристику технологічних та конструктивних показників конструкції плососіткової та двосіткової формуючих частин внесено до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні показники конструкції плососіткової та двосіткової формуючих частин

Показник	Розмірність	Значення	
		Плоско-сіткова	Двосіткова
Максимальна робоча швидкість, V	м/с	15	22,7
Максимальна продуктивність 1 м ² ПРМ по абсолютно сухому паперу, G	кг/с	1,54	2,27
Максимальна маса паперу, що виготовляється, при однаковій швидкості ПРМ ($V = 15$ м/с)	кг/м ²	0,025	0,038
Площа робочої поверхні, F _{роб}	м	11,45	11,45

Продовження таблиці 4.1

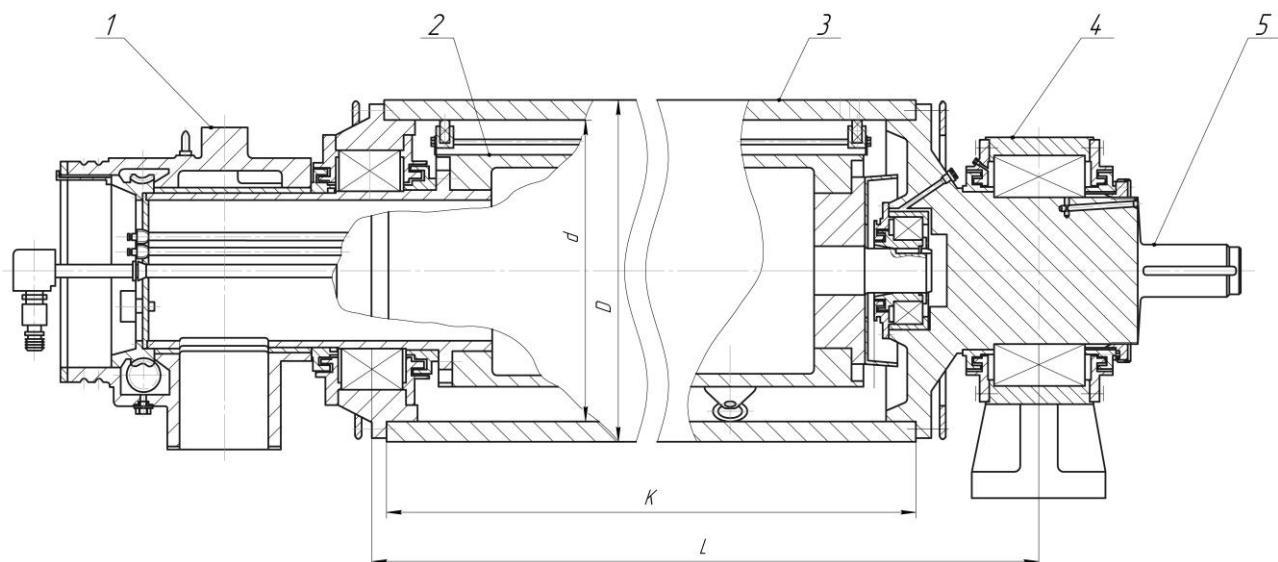
Габаритні розміри формуючої частини:				
—	довжина	м	13,75	10,5
—	ширина		7,5	7,5
—	висота		4,25	6,5

Висновок: порівнявши технологічні та конструктивні показники даних конструкцій встановлено, що ПРМ із двосітковою формуючою частиною здатна забезпечувати вищу максимальну швидкість, має вищу максимальну продуктивність 1 м² ПРМ по абсолютно сухому паперу та вищу максимально можливу масу паперу, що виготовляється при однаковій швидкості ПРМ, порівняно із плососітковою формуючою частиною. Необхідна довжина сіткового столу плососіткової формуючої частини складає 20 м, що у два рази перевищує необхідну для процесу формування паперового полотна робочу площу двосіткової формуючої частини. Конструкція ПРМ із плососітковою формуючою характеризується вищою металоємкістю, оскільки її габаритні розміри значно більші, ніж двосіткової формуючої частини.

За умови, що такі величини, як ширина сіток, діаметри валів, обрізна ширина паперу залишаються однаковими в обох конструкціях, розрахунково обґрунтовано, що раціонально застосовувати двосіткову формуючу частину із двосторонньою фільтрацією.

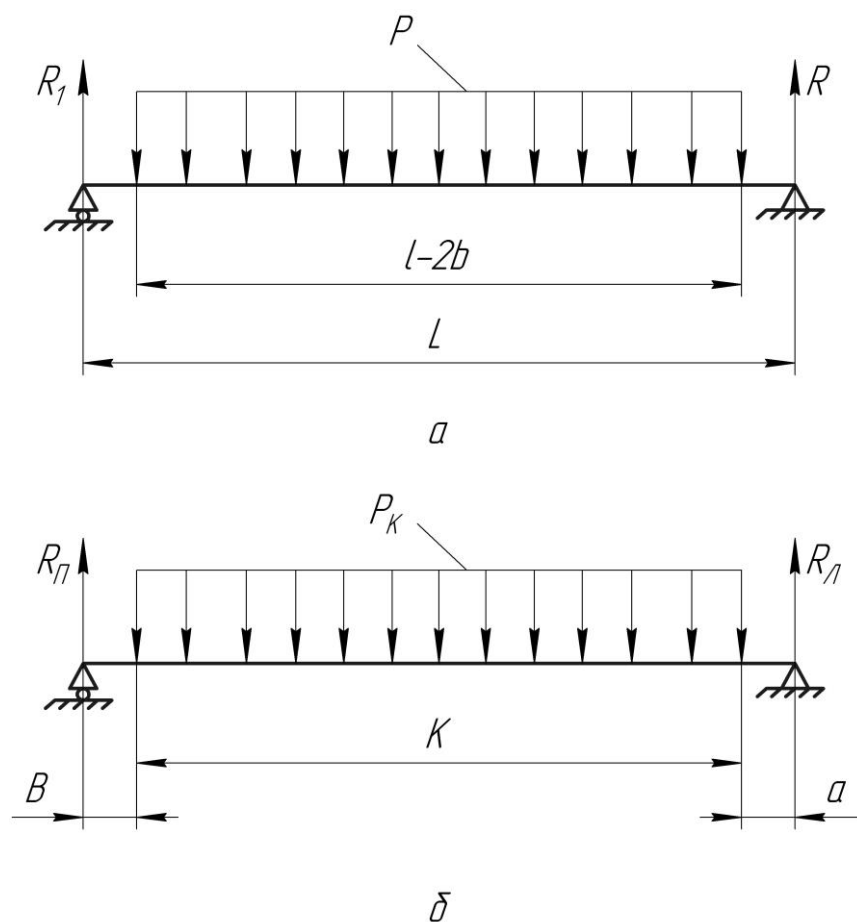
4.4 Розрахунок гауч-валу на міцність та жорсткість

Розрахункова схема гауч-валу показана на рисунку 4.5. Схеми розподілення навантаження для гауч-валу та його оболонки показані на рисунку 4.6.



1 – корпус гауч-валу, 2 – вакуум-камера, 3 – оболонка, 4 – корпус підшипникового вузла, 5 – цапфа приводна

Рисунок 4.5 – Розрахункова схема гауч-валу



а – для гауч-валу, б – для оболонки гауч-валу

Рисунок 4.6 – Схема навантаження

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛБ71.705411.001 ПЗ

Арк.

58

Мета розрахунку – підбір матеріалу та конструкції гауч-валу, що задовольняють умови міцності.

Вихідні дані до розрахунку:

Діаметр оболонки вала зовнішній D, м	0,920
Діаметр оболонки вала внутрішній d, м	0,806
Довжина зони відсмоктування l, м	5
Ширина зони відсмоктування b ₁ , м	0,42
Ширина сітки b, м	4,8
Довжина між опорами вала L, м	6,1
Довжина оболонки вала l ₂ , м	5
Натяг сітки q, кН/м	5
Маса оболонки гауч-вала m ₁ , кг	8590
Вакуум P _в , МПа	0,075
Маса відсмоктувальної камери m ₂ , кг	3000
Маса цапфи з лицьового боку гауч-вала m ₃ , кг	1000
Маса цапфи з приводного боку гауч-вала m ₄ , кг	1000
Крутний момент на приводній цапфі M _{кр} , Нм	6600

Розрахунок виконуємо за методикою, наведеною у [19], [20].

На оболонку гауч-валу діють навантаження від сили тяжіння вала, вакууму, натягу сітки.

Навантаження від вакууму:

$$P_1 = P_v b_1 l = 0,075 \cdot 0,42 \cdot 5 = 157,5 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Кут обхвату вала сіткою складає $\alpha = 40^\circ$. В цьому випадку навантаження від натягу сітки:

$$P_2 = 2qb \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 4,8 \cdot \sin \frac{40^\circ}{2} = 16,42 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Сумарне навантаження на вал від усіх зусиль:

$$P = m_1 g + P_1 + P_2 = 8590 \cdot 9,8 + 157500 + 16420 = 258180 \text{ Н.}$$

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опора корпуса вала з лицьового боку сприймає навантаження від маси корпуса вала, притискання оболонки валу і камери (за наявності вакууму в камері), а також натягу сітки.

Реакція опори корпуса вала з лицьового боку:

$$R_1 = \frac{P}{2} + m_3 g = \frac{258180}{2} + 1000 \cdot 9,81 = 138902 \text{ Н.}$$

Опора корпуса вала з лицьового боку сприймає навантаження від маси корпуса вала, вала камери, натягу верхньої сітки.

Реакція опори корпуса вала з приводного боку:

$$R_2 = \frac{P - P_1 + m_2 g}{2} + m_4 g = \frac{258180 - 157500 + 3000 \cdot 9,81}{2} + 1000 \cdot 9,81 = 74867 \text{ Н.}$$

На відсмоктувальну камеру діє навантаження P_k від маси камери, напрямлене до низу і зусилля від вакууму в камері, яке має протилежний напрям.

Сумарне зусилля:

$$P_k = P_1 - m_2 g = 157500 - 3000 \cdot 9,81 = 128070 \text{ Н.}$$

Реакція опори відсмоктувальної камери з лицьового боку:

$$R_l = P_k \frac{0,5l_4 + l_3}{l_2} = 128070 \frac{0,5 \cdot 3,05 + 0,1}{5} = 41623 \text{ Н,}$$

де $l_3 = 0,1$ – відстань від опори камери з лицьового боку до останнього ряду отворів оболонки, м,

$l_4 = 3,05$ – відстань від центру тяжіння підшипникового вузла до середини відсмоктувальної камери валу, м.

Реакція опори камери з приводного боку:

$$R_n = P_k \frac{0,5l_4 + l_5}{l_2} = 128070 \frac{0,5 \cdot 3,05 + 0,85}{5} = 60833 \text{ Н,}$$

де $l_5 = 0,85$ – відстань від центру тяжіння підшипникового вузла приводної цапфи до початку відсмоктувальної камери валу, м.

Максимальний згинаючий момент в середньому перерізі вала:

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M = P \left(\frac{L}{4} - \frac{l_2}{8} \right) = 258180 \left(\frac{6,1}{4} - \frac{5}{8} \right) = 232366 \text{ Нм.}$$

Момент інерції перерізу оболонки валу без урахування перфорації:

$$I = 0,05(D^4 - d^4) = 0,05(0,92^4 - 0,806^4) = 147 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

Момент опору перерізу оболонки валу:

$$W = \frac{2I}{D} = \frac{2 \cdot 147 \cdot 10^{-4}}{0,92} = 32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Ділянка дуги t_s , що знаходиться між крайніми отворами на діаметрі $D = 920$ мм в умовному опорному багатокутнику:

$$t_s = \frac{\pi D}{n},$$

де n – кількість отворів, які потрапляють в поперечний переріз оболонки на даному діаметрі ($n \approx 60$). Тоді:

$$t_s = \frac{\pi D}{n} = \frac{\pi \cdot 920}{60} = 49 \text{ мм.}$$

Небезпечний переріз представляє собою ламану лінію, що проходить через отвори. Кількість однакових відрізків, які складають ламану лінію $i = 5$. Крок між отворами $S = 15,9$ мм, діаметр отворів $d = 8$ мм.

Довжина ламаної лінії:

$$t'_s = i(S - d) = 5(15,9 - 8) = 39,5 \text{ мм.}$$

Для врахування ослаблення оболонки перфорацією слід застосувати приведений коефіцієнт послаблення поперечного перерізу оболонки перфорацією η .

Приведений коефіцієнт послаблення поперечного перерізу оболонки перфорацією:

$$\eta = \frac{t'_s}{t_s} = \frac{39,5}{49} = 0,82.$$

Напруження згинання в оболонці валу:

$$\sigma_{зг} = \frac{M}{W\eta} = \frac{232366}{32 \cdot 10^{-3} \cdot 0,82} = 8,9 \text{ МПа.}$$

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова міцності:

$$[\sigma] = 20 \text{ МПа}$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження матеріалу оболонки гауч-валу, МПа.

Маємо:

$$8,9 \text{ МПа} < 20 \text{ МПа}$$

Висновок: умова міцності виконується.

4.5 Розрахунок оболонки гауч-вала на жорсткість

Розрахункова схема показана на рисунку 4.7.

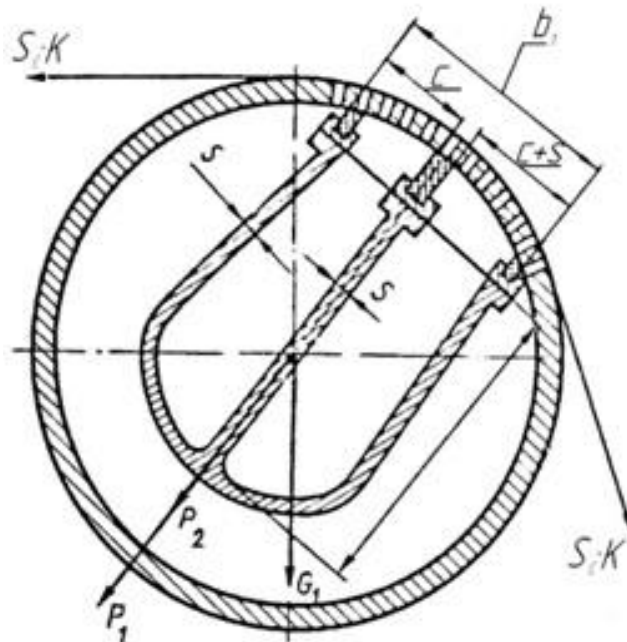


Рисунок 4.7 – Поперечний переріз гауч-вала

Мета розрахунку – перевірка оболонки гауч-вала на жорсткість та визначення відносного прогину.

Вихідні дані:

Розмір опорного багатокутника за напрямком твірної вала t_a , мм	120
Діаметр отворів перфорації d , мм	8
Момент інерції перерізу оболонки вала без урахування перфорації I , м^4	$147 \cdot 10^{-4}$

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Сумарне навантаження на вал від усіх зусиль Р, Н	258180
Довжина між опорами валу L, м	6,1
Довжина оболонки валу l ₂ , м	5
Ширина сітки b, м	4,8
Матеріал оболонки гауч-вала – бронза БрОЦ10-8	
Границя міцності матеріалу оболонки σ _в , МПа	250
Модуль пружності E _{бр} , МПа	1,15·10 ⁵

Розрахунок виконуємо за методикою, наведеною у [2], [19].

Прогин оболонки перфорованого гауч-валу знаходиться з урахуванням коефіцієнта живого перерізу перфорації. На поверхні оболонки обирається умовно опорний багатокутник. Площа опорного багатокутника Ω м², на зовнішньому діаметрі:

$$\Omega = t_a t_s = 0,12 \cdot 0,049 = 0,005781 \text{ м}^2,$$

де t_s – ділянка дуги, що знаходиться між крайніми отворами на зовнішньому діаметрі гауч-валу в умовному опорному багатокутнику, м.

Площа перерізу одного отвору:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 0,00005 \text{ м}^2.$$

Кількість отворів в опорному багатокутнику складає n = 38.

Коефіцієнт живого перерізу:

$$K = \frac{n\omega}{\Omega} = \frac{38 \cdot 0,00005}{0,005781} = 0,33.$$

Середній момент інерції перфорованої оболонки:

$$I_{\text{сер}} = I|(1 - K)| = 147 \cdot 10^{-4} |(1 - 0,33)| = 98,55 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

Прогин робочої частини вала посередині:

$$f = \frac{Pl_2^2(12L - 7b)}{384E_{\text{бр}}I_{\text{сер}}} = \frac{258180 \cdot 5^2(12 \cdot 6,1 - 7 \cdot 4,8)}{384 \cdot 1,15 \cdot 10^{11} \cdot 98,55 \cdot 10^{-4}} = 0,59 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відносний прогин:

$$\varepsilon = \frac{f}{l_2} = \frac{0,59 \cdot 10^{-3}}{5} = 0,118 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Умова жорсткості:

$$\varepsilon \leq [\varepsilon]$$

$$[\varepsilon] = 0,04 \cdot 10^{-3} \dots 0,153 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

де $[\varepsilon]$ – допустимий відносний прогин валу.

Маємо:

$$0,118 \cdot 10^{-3} < 0,153 \cdot 10^{-3}.$$

Висновок: прогин знаходиться у межах допустимого.

4.6 Розрахунок відсмоктувальної камери гауч-валу на міцність

Розрахункова схема відсмоктувальної камери гауч-валу показана на рисунку 4.7.

Мета розрахунку – перевірка відсмоктувальної камери гауч-валу на міцність.

Вихідні дані:

Довжина стінки відсмоктувальної камери $l_{\text{ст}}$, м	0,6
Довжина відсмоктувальної камери гауч-валу $l_{\text{к}}$, м	5
Довжина між опорами валу L_1 , м	6,1
Довжина робочої частини валу L_4 , м	5
Вакуум $P_{\text{в}}$, МПа	0,075
Сумарне зусилля, що діє на відсмоктувальну камеру $P_{\text{к}}$, Н	128070
Матеріал середньої стінки камери – Сталь3	
Границя міцності матеріалу камери $[\sigma_{\text{ст}}]$, МПа	100

Розрахунок виконуємо за методикою, наведеною у [2], [19].

За наявності вакууму тільки в одній половині камери середня стінка піддається навантаженню із-за різниці тисків. Товщину середньої стінки

знаходять виходячи із формули для розрахунку напружень в прямокутній пластині, закріпленій по контуру:

$$s = 0,068 l_3 \sqrt{\frac{P_B}{[\sigma_{\text{ст}}] \left[1 + \left(\frac{l_{\text{ст}}}{l_K} \right)^2 \right]}} = 0,068 \cdot 0,1 \sqrt{\frac{0,075}{100 \left[1 + \left(\frac{0,6}{5} \right)^2 \right]}} = 0,0185 \text{ м.}$$

Для подальших розрахунків приймаємо товщину стінки $s = 0,02$ м.

Для розрахунку камери на поперечний прогин слід знайти згинаючий момент по середині відсмоктувальної камери:

$$M_{\text{БК}} = P_K \left(\frac{L_1}{4} - \frac{L_4}{8} \right) = 128070 \left(\frac{6,1}{4} - \frac{5}{8} \right) = 115 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

Поперечний переріз для спрощення розглядається як три вертикальні листи.

Момент інерції відсмоктувальної камери:

$$I_{\text{БК}} = \frac{4sl_{\text{ст}}^3}{12} = \frac{4 \cdot 0,02 \cdot 0,6^3}{12} = 14,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

Момент опору відсмоктувальної камери:

$$W_{\text{БК}} = \frac{2I_{\text{БК}}}{l_{\text{ст}}} = \frac{2 \cdot 14,4 \cdot 10^{-4}}{0,6} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Напруження згинання:

$$\sigma_{\text{БК}} = \frac{M_{\text{БК}}}{W_{\text{БК}}} = \frac{115 \cdot 10^3}{4,8 \cdot 10^{-3}} = 23,9 \text{ МПа.}$$

Умова міцності:

$$[\sigma] = 55 \text{ МПа}$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження матеріалу відсмоктувальної камери гауч-валу, МПа.

Маємо:

$$23,9 \text{ МПа} < 55 \text{ МПа.}$$

Висновок: умова міцності відсмоктувальної камери гауч-валу виконується.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.7 Розрахунок шабера гауч-валу

Розрахункову схему шабера гауч-валу наведено на рисунку 4.8.

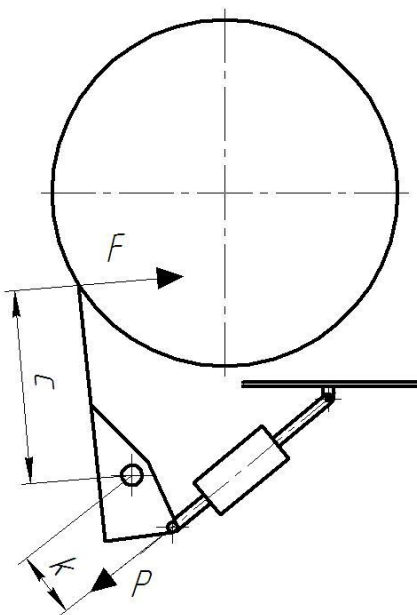


Рисунок 4.8 – Схема шабера гауч-валу

Мета розрахунку – визначення тиску, який необхідно створити в пневмобалоні та розрахунок леза шабера на жорсткість та міцність.

Вхідні дані:

Лінійний тиск шабера $q_{ш}$, Н/м	300
Довжина леза шабера B , м	5
Висота леза шабера h , м	0,07
Ширина леза шабера b , м	0,006
Відстань від осі обертання шабера до поверхні вала c , м	0,23
Прикладання зусилля пневмоциліндром k , м	0,23
Діаметр пневмоциліндра $d_{п}$, м	0,1

Розрахунок виконуємо за методикою, наведеною в [2], [19].

Розрахунок виконується за допомогою програмного забезпечення в середовищі C#, результати якого систематизовано у додатку Г.

Зусилля притискання леза шабера до поверхні вала, Н:

$$F_{ш} = q_{ш} \cdot B,$$

Зусилля, яке створює пневмоциліндр, Н:

$$P_{\text{ш}} = \frac{F_{\text{ш}} \cdot c}{k},$$

Розрахунок тиску в пневмоциліндрі, Па:

$$p_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_{\text{ц}}^2},$$

Момент, що створює зусилля притискання, Н/м:

$$M = F_{\text{ш}} \cdot h,$$

Момент опору леза шабера, м³:

$$W = \alpha \cdot h \cdot b^2,$$

де α – коефіцієнт, що залежить від співвідношення h до b ; $\alpha = 0,333$ [2].

Напруження леза шабера, Па:

$$\sigma = \frac{M}{W},$$

Необхідно, щоб отримана величина напруження леза шабера не перевищувала допустиме значення $[\sigma] = 150$ МПа:

$$\sigma < [\sigma]$$

Згідно з виконаним розрахунком (додаток Г):

$$125,1 \text{ МПа} < 150 \text{ МПа}$$

Момент інерції леза шабера, м:

$$I_{\text{ш}} = \beta \cdot h \cdot b,$$

де β – коефіцієнт, що залежить від співвідношення h до b ; $\beta = 0,4$ [2].

Прогин леза шабера, м:

$$f = \frac{F_{\text{ш}} \cdot h^2}{384 \cdot E \cdot I},$$

де E – модуль пружності другого роду для матеріалу леза, $E = 0,15 \cdot 10^{11}$ Па.

Необхідно, щоб отримана величина прогину леза шабера не перевищувала допустиме значення $[f] = 0,005$ м:

$$f < [f]$$

Згідно з виконаним розрахунком (додаток Г):

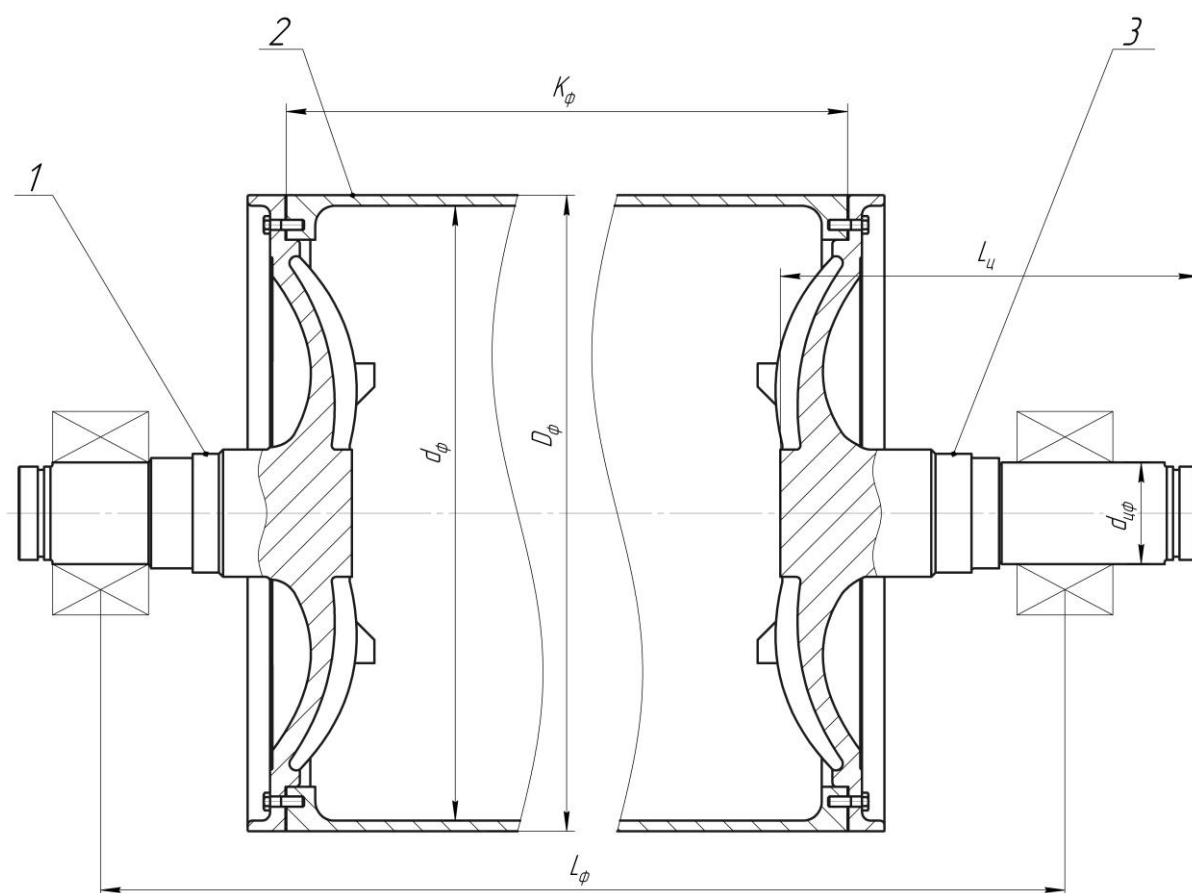
					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$0,000972 \text{ м} < 0,005 \text{ м.}$$

Висновки: згідно з даними комп'ютерного розрахунку, отримані значення напруження леза шабера та прогин знаходяться у межах допустимих значень.

4.8 Розрахунок формуючого валу на жорсткість

Розрахункова схема формуючого валу формуючої частини ПРМ показана на рисунку 4.9.



1 – цапфа лицьова, 2 – оболонка, 3 – цапфа приводна

Рисунок 4.9 – Розрахункова схема формуючого валу

Мета розрахунку – перевірка формуючого валу на жорсткість.

Вихідні дані:

Діаметр оболонки формуючого валу D_ϕ , м	1,5
Внутрішній діаметр оболонки формуючого валу d_ϕ , м	1,44

Довжина оболонки формуючого валу K_{ϕ} , м	5
Діаметр цапфи формуючого валу $d_{цф}$, м	0,2
Довжина цапфи формуючого валу $L_{ц}$, м	1,23
Довжина валу між осями підшипників L_{ϕ} , м	6,1
Натяг сітки q_{ϕ} , кН/м	5
Матеріал оболонки формуючого валу	СЧ 30
Густина матеріалу оболонки формуючого валу ρ , кг/м ³	7000
Матеріал цапф формуючого валу	Сталь 40Х
Густина матеріалу цапф валу $\rho_{ц}$, кг/м ³	7860

Розрахунок проводимо за методикою, наведеною в [3], [19].

Сила тяжіння цапф валу:

$$G_{ц} = \frac{\pi \cdot d_{цф}^2}{4} \cdot L_{ц} \cdot \rho_{ц} \cdot g = \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} \cdot 1,23 \cdot 7860 \cdot 9,81 = 2980 \text{ Н.}$$

Сила тяжіння оболонки валу:

$$G_{об} = \frac{\pi \cdot (D_{\phi}^2 - d_{\phi}^2)}{4} \cdot K_{\phi} \cdot \rho \cdot g = \frac{3,14 \cdot (1,5^2 - 1,44^2)}{4} \cdot 5 \cdot 7000 \cdot 9,81 = 47570 \text{ Н.}$$

Сила тяжіння формуючого валу з підшипниками:

$$G_{\phi} = 2 \cdot G_{ц} + G_{об} + 2 \cdot G_{п} = 2 \cdot 2980 + 47570 + 2 \cdot 25 \cdot 9,81 = 54020,5 \text{ Н.}$$

де $G_{п}$ – сила тяжіння підшипників формуючого валу, Н.

Максимально можлива інтенсивність навантаження на формуючий вал від натягу сітки:

$$Q_s = 2q_{\phi} = 2 \cdot 5000 = 10000 \text{ Н,}$$

Числове значення натягу сітки знаходимо за формулою:

$$S_c = S_B \cdot K_{\phi} = 6000 \cdot 5 = 30000 \text{ Н,}$$

де $S_B = 6000 \text{ Н/м}$ – максимальне навантаження від натягу сіток [3].

Сумарне навантаження на формуючий вал:

$$Q_{\phi} = G_{\phi} + Q_s + q_{\phi} \cdot K_{\phi} = 54020,5 + 10000 + 5000 \cdot 5 = 89020,5 \text{ Н.}$$

Момент інерції перерізу І–І корпусу валу:

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$I = \frac{\pi}{64} (D_{\phi}^2 - d_{\phi}^2) = \frac{\pi}{64} (1,5^4 - 1,44^4) = 8,66 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^4$$

Прогин формуючого валу:

$$f = \frac{Q_{\phi} \cdot K_{\phi}^2 \cdot (12 \cdot L_{\phi} - 7 \cdot K_{\phi})}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{89020,5 \cdot 5^2 \cdot (12 \cdot 6,1 - 7 \cdot 5)}{384 \cdot 1,75 \times 10^{11} \cdot 37,4 \times 10^{-3}} = 0,000034 \text{ м.}$$

де E – модуль пружності чавуну, Н/м².

Відносний прогин формуючого валу:

$$\xi_{\text{ж}} = \frac{f}{L_{\phi}} = \frac{0,00003}{6,1} = 4,91 \cdot 10^{-6}.$$

Умова жорсткості:

$$\xi_{\text{ж}} \leq [\xi],$$

де $[\xi] = 167 \cdot 10^{-6}$ – допустимий відносний прогин валу [3].

Маємо:

$$4,91 \cdot 10^{-6} < 167 \cdot 10^{-6}$$

Висновок: формуючий вал задовольняє умови жорсткості.

4.9 Розрахунок формуючого валу на міцність

Розрахункова схема формуючого валу показана на рисунку 4.10.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

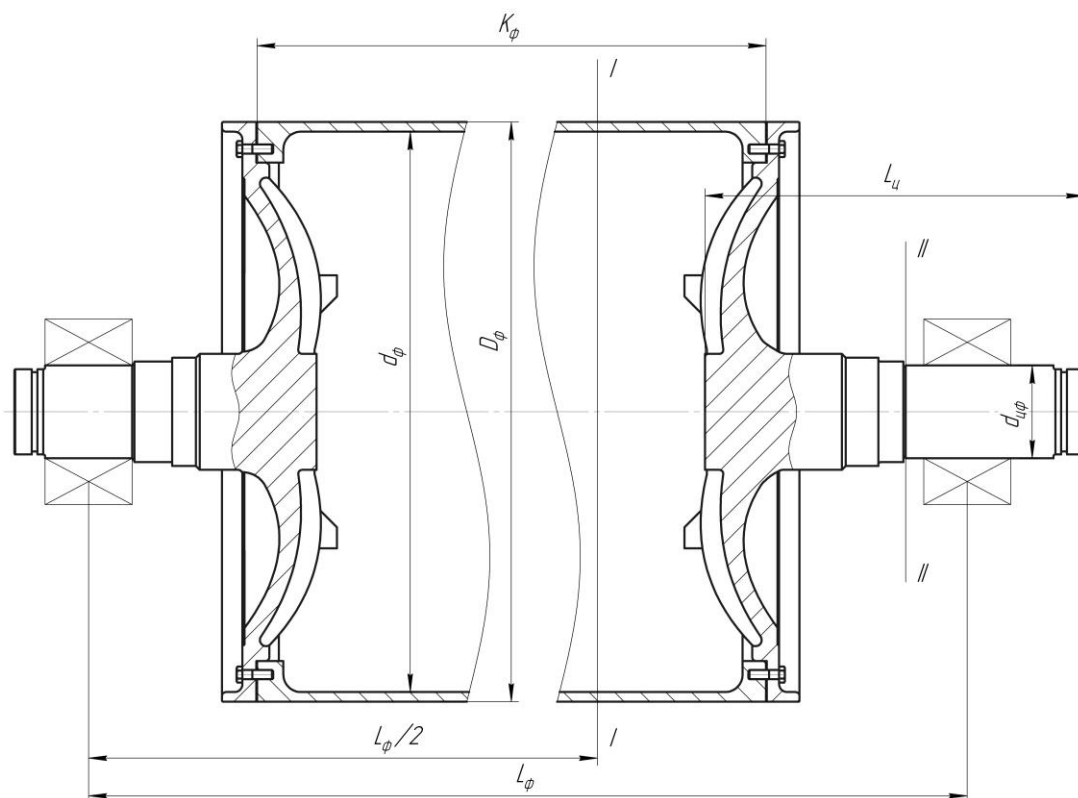


Рисунок 4.10 – Розрахункова схема формуючого валу

Мета розрахунку – перевірка формуючого валу на міцність.

Вихідні дані:

Діаметр оболонки формуючого валу D_ϕ , м	1,5
Внутрішній діаметр оболонки формуючого валу d_ϕ , м	1,44
Довжина оболонки формуючого валу K_ϕ , м	5
Діаметр цапфи формуючого валу $d_{цф}$, м	0,2
Довжина цапфи формуючого валу $L_{ц}$, м	1,23
Довжина валу між осями підшипників L_ϕ , м	6,1
Натяг сітки q_ϕ , кН/м	5
Матеріал оболонки формуючого валу	СЧ 30
Густина матеріалу оболонки формуючого валу ρ , кг/м ³	7000
Матеріал цапф формуючого валу	Сталь 40Х
Густина матеріалу цапф валу $\rho_{ц}$, кг/м ³	7860

Розрахунок проводимо за методикою, наведеною в [3], [19].

Момент опору перерізу I-I оболонки формуючого валу:

$$W_1 = \frac{2 \cdot I}{D} = \frac{2 \cdot 8,66 \cdot 10^{-3}}{1,5} = 0,012 \text{ м}^3,$$

де I – момент інерції перерізу I-I корпусу формуючого валу, м^4 .

Момент опору перерізу II-II цапфи валу:

$$W_2 = 0,1 \cdot d_{\text{цф}} = 0,1 \cdot 0,2^3 = 0,0008 \text{ м}^3$$

Згинаючий момент у перерізі I-I оболонки формуючого валу:

$$M_{\phi} = Q_{\phi} \cdot \left(\frac{L_{\phi}}{4} - \frac{K_{\phi}}{8} \right) = 89020,5 \cdot \left(\frac{6,1}{4} - \frac{5}{8} \right) = 80118,45 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де Q_{ϕ} – сумарне навантаження на формуючий вал, Н.

Згинаючий момент у перерізі II-II цапфи формуючого валу:

$$M_2 = Q_{\phi} \cdot \left(\frac{L_{\phi} - K_{\phi}}{4} \right) = 89020,5 \cdot \left(\frac{6,1 - 5}{4} \right) = 24480,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Напруження при згинанні у перерізі I-I оболонки формуючого валу:

$$\sigma_1 = \frac{M_{\phi}}{W_1} = \frac{80118,45}{0,012} = 6676537,5 \text{ Па} = 6,7 \text{ МПа}.$$

Умова міцності, МПа:

$$\sigma_1 < [\sigma_1]$$

де $[\sigma_1]$ – допустиме напруження матеріалу оболонки формуючого валу, МПа.

Допустиме напруження матеріалу оболонки формуючого валу:

$$[\sigma_1] = \frac{\sigma_{\text{ТЧ}}}{k} = \frac{150}{5} = 30 \text{ МПа},$$

де $k = 5$ – коефіцієнт запасу міцності матеріалу [22].

Маємо:

$$6,7 \text{ МПа} < 30 \text{ МПа}.$$

Умова міцності оболонки формуючого валу виконується.

Напруження при згинанні у перерізі II-II цапфи формуючого валу:

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{W_2} = \frac{24480,6}{0,0008} = 30600750 \text{ Па} = 30,6 \text{ МПа}$$

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова міцності, МПа:

$$\sigma_2 < [\sigma_2],$$

де $[\sigma_2]$ – допустиме напруження матеріалу цапф формуючого валу, МПа.

Допустиме напруження матеріалу цапф формуючого валу:

$$[\sigma_2] = \frac{\sigma_{\text{тс}}}{k} = \frac{530}{5} = 106 \text{ МПа},$$

де $k = 5$ – коефіцієнт запасу міцності матеріалу[22].

Маємо:

$$30,6 \text{ МПа} < 106 \text{ МПа}$$

Умова міцності матеріалу цапф формуючого валу виконується.

Висновок: усі умови міцності для формуючого валу виконуються.

4.10 Розрахунок та вибір підшипників для формуючого валу

Розрахункова схема показана на рисунку 4.11.

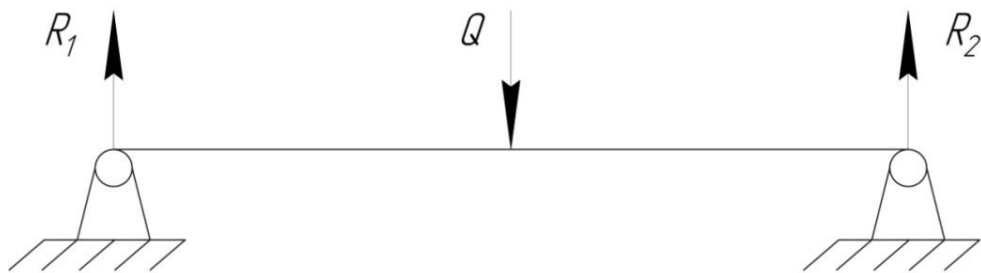


Рисунок 4.11 – Схема для розрахунку підшипників формуючого валу

Мета розрахунку: вибір підшипників для формуючого валу, що задовольняють умовам довговічності та максимально допустимого навантаження.

Вихідні дані:

Номінальна довговічність підшипників $[L_h]$, годин	100000
Швидкість машини V , м/с (м/хв.)	15 (900)
Довжина валу між осями підшипників $L_{\text{ф}}$, м	6,1

Розрахунок проводимо за методикою, наведеною у [19].

Оскільки навантаження на формуючому валу розподілене симетрично, то радіальну силу, що діє на один підшипник, розраховуємо за формулою:

$$F_R = \frac{Q_\phi}{2} = \frac{89020,5}{2} = 44510,25 \text{ Н},$$

де Q_ϕ – сумарне навантаження на формуючий вал, Н.

Враховуючи діаметр цапфи формуючого валу та радіальну силу, що діє на підшипник, попередньо вибираємо підшипник роликовий радіальний сферичний дворядний № 3003140 ГОСТ 5721-75, який має наступні характеристики: статична вантажопідйомність $C_0=770000$ Н, динамічна вантажопідйомність $C=800000$ Н, діаметр зовнішнього кільця $D=340$ мм, діаметр внутрішнього кільця $d=200$ мм, ширина підшипника $B=82$ мм.

Еквівалентне навантаження на підшипники:

$$P_{\text{екв}} = K_v \cdot F_R \cdot K_B \cdot K_T = 0,51 \cdot 44510,25 \cdot 1 \cdot 1,05 = 23835 \text{ Н},$$

де K_v – коефіцієнт обертання;

K_B – коефіцієнт безпеки;

K_T – температурний коефіцієнт.

Розрахункова довговічність підшипника:

$$L_h = \left(\frac{C}{P_{\text{екв}}} \right)^p = \left(\frac{800000}{23835} \right)^{10/3} = 262,2 \text{ млн. об.},$$

де C – динамічна вантажопідйомність підшипника, Н;

p – степеневий показник, який залежить від типу підшипника.

Число обертів валу:

$$n = \frac{V}{\pi \cdot D} = \frac{900}{3,14 \cdot 1,5} = 191 \text{ хв}^{-1},$$

де V – швидкість картоноробної машини, м/хв;

Розрахункова номінальна довговічність підшипників:

$$L_p = \frac{10^6 \cdot L_h}{60 \cdot n} = \frac{262,2 \cdot 10^6}{60 \cdot 191} = 123000 \text{ год.}$$

Умова довговічності, год:

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

$$[L_h] \leq L_p.$$

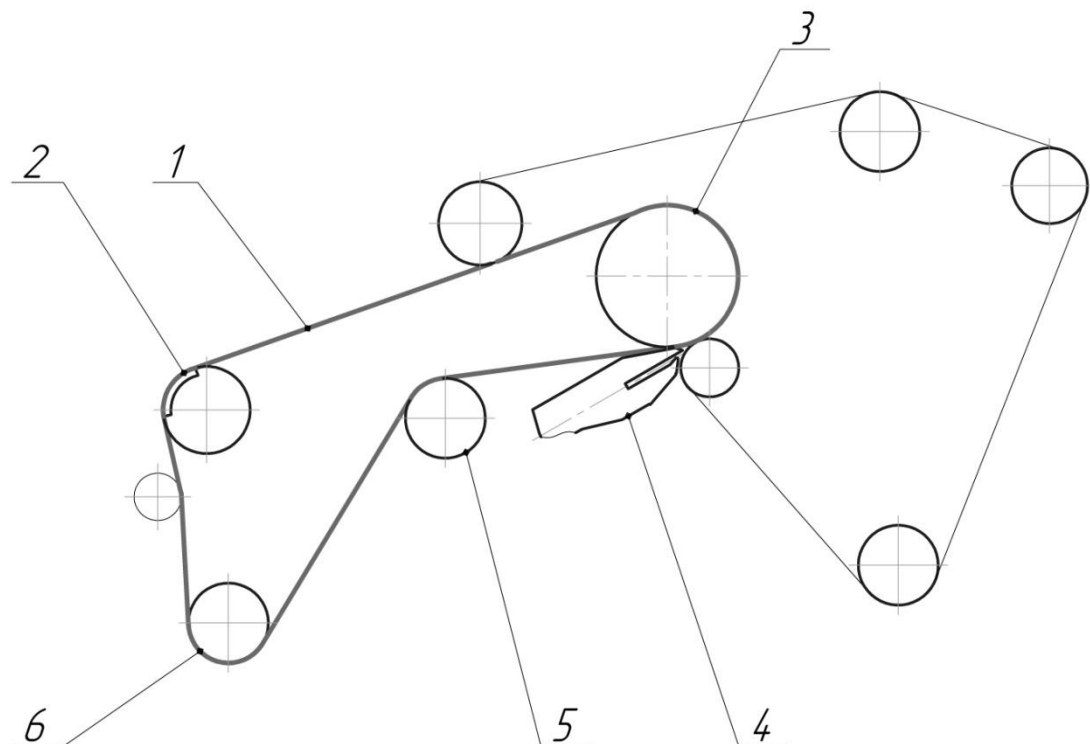
Маємо:

$$100000 \text{ год} < 123000 \text{ год}.$$

Висновок: умова довговічності виконується, отже, для формуючого валу вибираємо підшипник № 3003140 ГОСТ 5721-75.

4.11 Розрахунок потужності привода нижньої сітки

Схема компоновки валів нижньої сітки двосіткової формуючої частини ПРМ показана на рисунку 4.12.



1 – нижня сітка, 2 – гауч-вал, 3 – формуючий вал, 4 – масонапускний пристрій,
5 – сітководучий вал, 6 – сітконатяжний вал

Рисунок 4.12 – Компоновка валів нижньої сітки двосіткової формуючої частини ПРМ

Мета розрахунку – визначення необхідної потужності приводу гауч-валу та формуючого валу для приведення в рух нижньої сітки.

Вихідні дані:

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Робоча швидкість машини V , м/с (м/хв)	15 (900)
Обрізна ширина паперового полотна B , м	4,25
Сумарне навантаження на вал від усіх зусиль гауч-валу P , Н	258180
Сумарне навантаження на формуючий вал Q_{ϕ} , Н	89020,5

Розрахунок потужності приводу гауч-валу та формуючого валу для приведення в рух нижньої сітки виконується методом тягових зусиль, за методикою наведеною в [19].

Загальне тягове зусилля для приведення сітки в рух, кН:

$$T = T_{в.н.с} + T_{ш} + T_{ущ},$$

де $T_{в.н.с}$ – тягове зусилля на подолання тертя в підшипникових опорах валів нижньої сітки, кН;

$T_{ш}$ – тягове зусилля на подолання тертя шаберів об вали нижньої сітки, кН,

$T_{ущ}$ – тягове зусилля на подолання тертя ущільнень в гауч-валові, кН.

Тягове зусилля на подолання тертя в підшипникових опорах гауч-валу:

$$T_{\Gamma} = P f \frac{d_{ц}}{D} = 258180 \cdot 0,02 \cdot \frac{0,24}{0,92} = 1347 \text{ Н},$$

де P – навантаження на гауч-вал, Н;

f – приведений коефіцієнт тертя в підшипнику, віднесений до діаметра цапфи (для роликів підшипників 0,02);

$d_{ц}$ – діаметр цапфи гауч-валу, м;

D – діаметр гауч-валу, м.

Тягове зусилля на подолання тертя в підшипникових опорах формуючого валу:

$$T_{\phi} = Q_{\phi} f \frac{d_{ц\phi}}{D_{\phi}} = 89020,5 \cdot 0,02 \cdot \frac{0,2}{1,5} = 240 \text{ кН},$$

де Q_{ϕ} – навантаження на формуючий вал, кН,

f – приведений коефіцієнт тертя в підшипнику, віднесений до діаметра цапфи (для роликів підшипників 0,02);

$d_{ц\phi}$ – діаметр цапфи формуючого валу, м;

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

D_f – діаметр формуючого валу, м.

Тягове зусилля на подолання тертя в підшипникових опорах сітконатяжного валу:

$$T_{\text{сн}} = Q_{\text{сн}} f \frac{d_{\text{ц,сн}}}{D_{\text{сн}}} z_{\text{сн}} = 91540 \cdot 0,02 \cdot \frac{0,16}{0,844} \cdot 1 = 350 \text{ Н},$$

де $Q_{\text{сн}}$ – навантаження на сітконатяжний вал, Н,

f – приведений коефіцієнт тертя в підшипнику, віднесений до діаметра цапфи (для роликів підшипників 0,02);

$d_{\text{ц,сн}}$ – діаметр цапфи сітконатяжного валу, м;

$D_{\text{сн}}$ – діаметр сітконатяжного валу, м.

$z_{\text{сн}}$ – кількість сітконатяжних валів.

Сумарне навантаження на сітконатяжний вал:

$$Q_{\text{сн}} = G_{\text{сн}} + Q_{\text{с.сн}} + q \cdot K_{\text{сн}} = 56540 + 10000 + 5000 \cdot 5 = 91540 \text{ Н},$$

де $G_{\text{сн}}$ – сила тяжіння сітконатяжного валу з підшипниками, Н;

$Q_{\text{с.сн}}$ – максимально можлива інтенсивність навантаження на сітконатяжний вал від натягу сітки, Н;

$q_{\text{сн}}$ – натяг сітки, Н/м;

$K_{\text{сн}}$ – довжина оболонки сітконатяжного валу, м.

Сила тяжіння цапф сітконатяжного валу:

$$G_{\text{ц,сн}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ц,сн}}^2}{4} \cdot L_{\text{ц,сн}} \cdot \rho_{\text{ц,сн}} \cdot g = \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} \cdot 1 \cdot 7860 \cdot 9,81 = 1550 \text{ Н},$$

де $L_{\text{ц,сн}}$ – довжина цапфи сітконатяжного валу, м;

$\rho_{\text{ц,сн}}$ – густина матеріалу цапф сітконатяжного валу, кг/м³. Матеріал цапф сітконатяжного валу – Сталь 40Х.

Сила тяжіння оболонки сітконатяжного валу:

$$G_{\text{об.сн}} = \frac{\pi \cdot (D_{\text{сн}}^2 - d_{\text{сн}}^2)}{4} \cdot K_{\text{сн}} \cdot \rho_{\text{об.сн}} \cdot g = \frac{3,14 \cdot (0,844^2 - 0,794^2)}{4} \times \\ \times 5 \cdot 7000 \cdot 9,81 = 22085 \text{ Н},$$

де $D_{\text{сн}}$ – зовнішній діаметр сітконатяжного валу, м;

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

$d_{\text{сн}}$ – діаметр оболонки сітконатяжного валу, м;

$\rho_{\text{об.сн}}$ – густина матеріалу оболонки сітконатяжного валу, кг/м^3 . Матеріал оболонки сітконатяжного валу – Ст30.

Сила тяжіння сітконатяжного валу з підшипниками:

$$G_{\text{сн}} = 2 \cdot G_{\text{ц.сн}} + G_{\text{об.сн}} + 2 \cdot G_{\text{п.сн}} = 2 \cdot 1550 + 22085 + 2 \cdot 18 \cdot 9,81 = 56540 \text{ Н.}$$

де $G_{\text{сн}}$ – сила тяжіння підшипників сітконатяжного валу, Н.

Максимально можлива інтенсивність навантаження на сітконатяжний вал від натягу сітки:

$$Q_{\text{с.сн}} = 2q_{\text{сн}} = 2 \cdot 5000 = 10000 \text{ Н,}$$

де $q_{\text{сн}}$ – натяг верхньої сітки, кН/м .

Тягове зусилля на подолання тертя в підшипниках сітководучого валу:

$$T_{\text{св}} = Q_{\text{св}} f \frac{d_{\text{ц.св}}}{D_{\text{св}}} z_{\text{св}} = 91540 \cdot 0,02 \cdot \frac{0,16}{0,844} \cdot 1 = 350 \text{ Н,}$$

де $Q_{\text{св}}$ – навантаження на сітководучий вал, Н;

f – приведений коефіцієнт тертя в підшипнику, віднесений до діаметра цапфи (для роликів підшипників 0,02);

$d_{\text{ц.св}}$ – діаметр цапфи сітководучого валу, м;

$D_{\text{св}}$ – діаметр сітководучого валу, м;

$z_{\text{св}}$ – кількість сітководучих валів.

Сумарне навантаження на сітководучий вал:

$$Q_{\text{св}} = G_{\text{св}} + Q_{\text{с.св}} + q \cdot K_{\text{св}} = 56540 + 10000 + 5000 \cdot 5 = 91540 \text{ Н,}$$

де $G_{\text{св}}$ – сила тяжіння сітководучого валу з підшипниками, Н;

$Q_{\text{с.св}}$ – максимально можлива інтенсивність навантаження на сітководучий вал від натягу сітки, Н;

$q_{\text{св}}$ – натяг сітки, Н/м ;

$K_{\text{св}}$ – довжина оболонки сітководучого валу, м.

Сила тяжіння цапф сітководучого валу:

$$G_{\text{ц.св}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ц.св}}^2}{4} \cdot L_{\text{ц.св}} \cdot \rho_{\text{ц.св}} \cdot g = \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} \cdot 1 \cdot 7860 \cdot 9,81 = 1550 \text{ Н,}$$

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

де $L_{ц.св}$ – довжина цапфи сітководучого валу, м;

$\rho_{ц.св}$ – густина матеріалу цапф сітководучого валу, кг/м^3 . Матеріал цапф сітководучого валу – Сталь 40Х.

Сила тяжіння оболонки сітководучого валу:

$$G_{об.св} = \frac{\pi \cdot (D_{св}^2 - d_{св}^2)}{4} \cdot K_{св} \cdot \rho_{об.св} \cdot g = \frac{3,14 \cdot (0,844^2 - 0,794^2)}{4} \times \\ \times 5 \cdot 7000 \cdot 9,81 = 22085 \text{ Н,}$$

де $D_{св}$ – зовнішній діаметр сітководучого валу, м;

$d_{св}$ – діаметр оболонки сітководучого валу, м;

$\rho_{об.св}$ – густина матеріалу оболонки сітководучого валу, кг/м^3 . Матеріал оболонки сітководучого валу – Ст30.

Сила тяжіння сітководучого валу з підшипниками:

$$G_{св} = 2 \cdot G_{ц.св} + G_{об.св} + 2 \cdot G_{п.св} = 2 \cdot 1550 + 22085 + 2 \cdot 18 \cdot 9,81 = 56540 \text{ Н.}$$

де $G_{св}$ – сила тяжіння підшипників сітководучого валу, Н.

Максимально можлива інтенсивність навантаження на сітководучий вал від натягу сітки:

$$Q_{с.св} = 2q_{св} = 2 \cdot 5000 = 10000 \text{ Н,}$$

де $q_{св}$ – натяг верхньої сітки, кН/м .

Таким чином, загальне навантаження на подолання тертя в підшипниках валів нижньої сітки $T_{в.н.с}$ складає:

$$T_{в.н.с} = T_{г} + T_{ф} + T_{сн} + T_{св} = 240 + 240 + 350 + 350 = 1880 \text{ Н.}$$

Тягове зусилля на подолання тертя шаберів об поверхні валів нижньої сітки формуючої частини $T_{ш}$:

$$T_{в.ш} = T_{г.ш} + T_{ф.ш} + T_{сн.ш} + T_{св.ш},$$

де $T_{г.ш}$ – тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню гауч-валу, Н;

$T_{ф.ш}$ – тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню формуючого валу, Н;

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$T_{\text{сн.ш}}$ – тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню сітконатяжного валу, Н;

$T_{\text{св.ш}}$ – тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню сітководучого валу, Н.

Тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню гауч-валу:

$$T_{\text{г.ш}} = f_{\text{г.ш}} q_{\text{г.ш}} b_{\text{г.ш}} = 0,2 \cdot 250 \cdot 5 = 250 \text{ Н},$$

де $f_{\text{г.ш}}$ – коефіцієнт тертя шабера об поверхню гауч-валу [2];

$q_{\text{г.ш}}$ – тиск шабера на гауч-вал, Н/м [2];

$b_{\text{г.ш}}$ – довжина лінії контакту шабера з гауч- валом, м.

Тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню формуючого валу:

$$T_{\text{ф.ш}} = f_{\text{ф.ш}} q_{\text{ф.ш}} b_{\text{ф.ш}} = 0,2 \cdot 250 \cdot 5 = 250 \text{ Н},$$

де $f_{\text{ф.ш}}$ – коефіцієнт тертя шабера об поверхню формуючого валу [2];

$q_{\text{ф.ш}}$ – тиск шабера на формуючий вал, Н/м [2];

$b_{\text{ф.ш}}$ – довжина лінії контакту шабера з формуючим валом, м.

Тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню сітконатяжного валу:

$$T_{\text{сн.ш}} = f_{\text{сн.ш}} q_{\text{сн.ш}} b_{\text{сн.ш}} = 0,25 \cdot 250 \cdot 5 = 312,5 \text{ Н},$$

де $f_{\text{сн.ш}}$ – коефіцієнт тертя шабера об поверхню сітконатяжного валу [2];

$q_{\text{сн.ш}}$ – тиск шабера на сітконатяжний вал, Н/м [2];

$b_{\text{сн.ш}}$ – довжина лінії контакту шабера з сітконатяжним валом, м.

Тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню сітководучий вал:

$$T_{\text{св.ш}} = f_{\text{св.ш}} q_{\text{св.ш}} b_{\text{св.ш}} \cdot z_{\text{св}} = 0,25 \cdot 250 \cdot 5 = 312,5 \text{ Н},$$

де $f_{\text{св.ш}}$ – коефіцієнт тертя шабера об поверхню сітководучого валу [2];

$q_{\text{св.ш}}$ – тиск шабера на сітководучий вал, Н/м [2];

$b_{\text{св.ш}}$ – довжина лінії контакту шабера з сітководучим валом, м.

Таким чином, сумарне тягове зусилля на подолання тертя шаберів об поверхні валів нижньої сітки формуючої частини $T_{\text{в.ш}}$:

$$T_{\text{в.ш}} = T_{\text{г.ш}} + T_{\text{ф.ш}} + T_{\text{сн.ш}} + T_{\text{св.ш}} = 250 + 250 + 312,5 + 312,5 = 1125 \text{ Н}.$$

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тягове зусилля на подолання тертя ущільнення відсмоктувальної камери гауч-валу об внутрішню поверхню вала:

$$T_{\text{ущ}} = P_{\text{в}} n_{\text{к}} F_{\text{роб}} \frac{d}{D} = 75 \cdot 2 \cdot 11,45 \cdot \frac{0,806}{0,92} = 1505 \text{ Н},$$

де $P_{\text{в}}$ – вакуум в камерах гауч-валу, Па;

$n_{\text{к}}$ – кількість вакуум-камер;

$F_{\text{роб}}$ – площа робочої поверхні гауч-валу, м^2 ;

d – внутрішній діаметр гауч-валу, м;

D – зовнішній діаметр гауч-валу, м.

Сумарне тягове зусилля, необхідне для приведення нижньої сітки формуючої частини в рух складає:

$$T_{\text{н.с}} = T_{\text{в.н.с}} + T_{\text{в.ш}} + T_{\text{ущ}} = 1880 + 1125 + 1505 = 4510 \text{ Н}.$$

Збільшення тягового зусилля при можливому підвищенні швидкості з урахуванням коефіцієнта K_v :

$$K_v = 1 + 0,0004(V - 200) = 1 + 0,0004(900 - 200) = 1,28.$$

Можливе збільшення величини тягового зусилля порівняно з середнім, враховується коефіцієнтом K_m , який для формуючої частини знаходиться в межах 1,25 – 1,3 [2].

Кінцеве значення потужності для приведення нижньої сітки формуючої частини в рух:

$$N_{\text{в.с}} = TVK_v K_m = 4510 \cdot 15 \cdot 1,28 \cdot 1,3 = 113 \text{ кВт}.$$

Отримана потужність ділиться між формуючим валом та гауч-валом у співвідношенні 60% до 40%.

Таким чином, потужність електродвигуна формуючого валу з урахуванням коефіцієнта корисної дії редуктора складає:

$$N_{\text{роб.ф}} = \frac{N_{\text{в.с}} \cdot 0,6}{\eta_{\text{ред}}} = \frac{113 \cdot 0,6}{0,93} = 73 \text{ кВт}.$$

Потужність електродвигуна формуючого валу приймається найближчою до стандартної – $N_{\text{роб.ф}} = 75 \text{ кВт}$.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність електродвигуна гауч-валу з урахуванням коефіцієнта корисної дії редуктора складає:

$$N_{\text{роб.ф}} = \frac{N_{\text{в.с}} \cdot 0,4}{\eta_{\text{ред}}} = \frac{113 \cdot 0,4}{0,93} = 48,6 \text{ кВт.}$$

Потужність електродвигуна формуючого валу приймається найближчою до стандартної – $N_{\text{роб.ф}} = 55 \text{ кВт.}$

За результатами розрахунків та згідно з [21] для формуючого валу обрано електродвигун АИМ 250S2 (АИММ 250S2), а для гауч-валу – електродвигун АИММ 225M2 (АИММ 225M2), що мають короткозамкнений ротор та призначені для роботи від мережі трьохфазного змінного струму, частотою 50 Гц для приводу стаціонарних машин у вибухонебезпечних виробництвах хімічної, газової та нафтопереробної промисловостей.

Електродвигун АИМ 250S2 (АИММ 250S2) має наступні технічні характеристики:

- потужність – 75 кВт;
- частота обертання – 3000 об/хв;
- ККД – не менше, ніж 92,3%;
- коефіцієнт потужності – 0,94;
- маса електродвигуна – 550 кг.

Електродвигун АИММ 225M2 (АИММ 225M2) має наступні технічні характеристики:

- потужність – 55 кВт;
- частота обертання – 3000 об/хв;
- ККД – не менше, ніж 92,1%;
- коефіцієнт потужності – 0,93;
- маса електродвигуна – 418 кг.

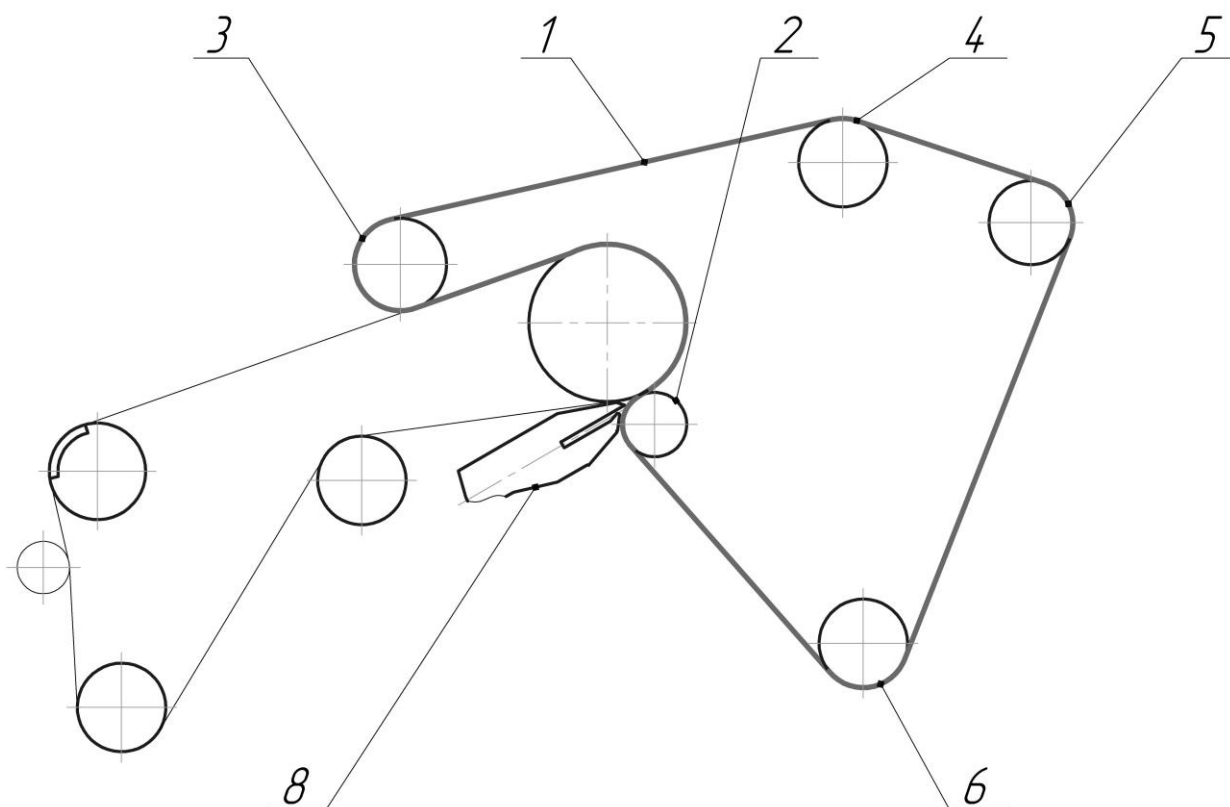
Електродвигуни оснащені двома схемами підключення (трикутник/зірка) в залежності від напруги мережі, що подає струм – 220/380 В або 380/660 В. Електродвигуни призначені для роботи в режимі S1 – тривала робота при

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

незмінному навантаженні тривалий час для досягнення постійної температури всіх її частин. Ступінь захисту IP54 – підвищений захист електродвигунів від вологи і пилу. Клас ізоляції обмоток статора F, максимальна температура нагріву 150 °С.

4.12 Розрахунок потужності привода верхньої сітки

Схема компоновки валів верхньої сітки двосіткової формуючої частини ПРМ показана на рисунку 4.13.



1 – верхня сітка, 2 – грудний вал, 3, 5 – сітководучі вали, 4 – сіткоправильний вал, 6 – сітконатяжний вал, 7 – грудний вал, 8 – масонапускний пристрій

Рисунок 4.13 – Компоновка валів верхньої сітки двосіткової формуючої частини ПРМ

Мета розрахунку – визначення необхідної потужності приводу грудного валу для приведення в рух верхньої сітки.

Вихідні дані:

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Робоча швидкість машини V , м/с (м/хв)

15 (900)

Обрізна ширина паперового полотна B , м

4,25

Розрахунок потужності приводу грудного валу виконується методом тягових зусиль, за методикою наведеною в [18], [19].

Загальне тягове зусилля для приведення сітки в рух, кН:

$$T = T_{\text{в}} + T_{\text{ш}},$$

де $T_{\text{в}}$ – тягове зусилля на подолання тертя в підшипникових опорах валів, кН;

$T_{\text{ш}}$ – тягове зусилля на подолання тертя шаберів об вали, кН.

Тягове зусилля на подолання тертя в підшипникових опорах грудного валу:

$$T_{\text{гр}} = Q_{\text{гр}} f \frac{d_{\text{ц.гр}}}{D_{\text{гр}}} = 53930 \cdot 0,02 \cdot \frac{0,15}{0,615} = 263 \text{ Н.}$$

де $Q_{\text{гр}}$ – навантаження на грудний вал, Н;

f – приведений коефіцієнт тертя в підшипнику, віднесений до діаметра цапфи (для роликових підшипників 0,02);

$d_{\text{ц.гр}}$ – діаметр цапфи грудного валу, м;

$D_{\text{гр}}$ – діаметр грудного валу, м.

Сумарне навантаження на грудний вал:

$$Q_{\text{гр}} = G_{\text{гр}} + Q_{\text{с.гр}} + q \cdot K_{\text{гр}} = 18930 + 10000 + 5000 \cdot 5 = 53930 \text{ Н,}$$

де $G_{\text{гр}}$ – сила тяжіння грудного валу з підшипниками, Н;

$Q_{\text{с.гр}}$ – максимально можлива інтенсивність навантаження на грудний вал від натягу сітки, Н;

$q_{\text{гр}}$ – натяг сітки, Н/м;

$K_{\text{гр}}$ – довжина оболонки грудного валу, м.

Сила тяжіння цапф грудного валу:

$$G_{\text{ц.гр}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ц.гр}}^2}{4} \cdot L_{\text{ц.гр}} \cdot \rho_{\text{ц.гр}} \cdot g = \frac{3,14 \cdot 0,15^2}{4} \cdot 1 \cdot 7860 \cdot 9,81 = 1362 \text{ Н,}$$

де $L_{\text{ц.гр}}$ – довжина цапфи грудного валу, м;

$\rho_{\text{ц.гр}}$ – густина матеріалу цапф грудного валу, кг/м³. Матеріал цапф грудного

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

валу – Сталь 40Х.

Сила тяжіння оболонки грудного валу:

$$G_{об.гр} = \frac{\pi \cdot (D_{гр}^2 - d_{гр}^2)}{4} \cdot K_{гр} \cdot \rho_{об.гр} \cdot g = \frac{3,14 \cdot (0,615^2 - 0,565^2)}{4} \times \\ \times 5 \cdot 7000 \cdot 9,81 = 15910,3 \text{ Н},$$

де $D_{гр}$ – зовнішній діаметр грудного валу, м;

$d_{гр}$ – діаметр оболонки грудного валу, м;

$\rho_{об.гр}$ – густина матеріалу оболонки грудного валу, кг/м³. Матеріал оболонки грудного валу – Ст30.

Сила тяжіння грудного валу з підшипниками:

$$G_{гр} = 2 \cdot G_{ц.гр} + G_{об.гр} + 2 \cdot G_{п.гр} = 2 \cdot 1362 + 15910,3 + 2 \cdot 15 \cdot 9,81 = 18930 \text{ Н}.$$

де $G_{п.гр}$ – сила тяжіння підшипників грудного валу, Н.

Максимально можлива інтенсивність навантаження на грудний вал від натягу сітки:

$$Q_{с.гр} = 2q_{гр} = 2 \cdot 5000 = 10000 \text{ Н},$$

де $q_{гр}$ – натяг верхньої сітки, кН/м.

Тягове зусилля на подолання тертя в підшипникових опорах сіткоправильного валу:

$$T_{сп} = Q_{сп} f \frac{d_{ц.сп}}{D_{сп}} z_{сп} = 91540 \cdot 0,02 \cdot \frac{0,16}{0,844} \cdot 1 = 350 \text{ Н},$$

де $Q_{сп}$ – навантаження на сіткоправильний вал, Н,

f – приведений коефіцієнт тертя в підшипнику, віднесений до діаметра цапфи (для роликів підшипників 0,02);

$d_{ц.сп}$ – діаметр цапфи сіткоправильного валу, м;

$D_{сп}$ – діаметр сіткоправильного валу, м.

$z_{сп}$ – кількість сіткоправильних валів.

Сумарне навантаження на сіткоправильний вал:

$$Q_{сп} = G_{сп} + Q_{с.сп} + q \cdot K_{сп} = 56540 + 10000 + 5000 \cdot 5 = 91540 \text{ Н},$$

де $G_{сп}$ – сила тяжіння сіткоправильного валу з підшипниками, Н;

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$Q_{с.сп}$ – максимально можлива інтенсивність навантаження на сіткоправильний вал від натягу сітки, Н;

$q_{сп}$ – натяг сітки, Н/м;

$K_{сп}$ – довжина оболонки сіткоправильного валу, м.

Сила тяжіння цапф сіткоправильного валу:

$$G_{ц.сп} = \frac{\pi \cdot d_{ц.сп}^2}{4} \cdot L_{ц.сп} \cdot \rho_{ц.сп} \cdot g = \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} \cdot 1 \cdot 7860 \cdot 9,81 = 1550 \text{ Н},$$

де $L_{ц.сп}$ – довжина цапфи сіткоправильного валу, м;

$\rho_{ц.сп}$ – густина матеріалу цапф сіткоправильного валу, кг/м³. Матеріал цапф сіткоправильного валу – Сталь 40Х.

Сила тяжіння оболонки сіткоправильного валу:

$$G_{об.сп} = \frac{\pi \cdot (D_{сп}^2 - d_{сп}^2)}{4} \cdot K_{сп} \cdot \rho_{об.сп} \cdot g = \frac{3,14 \cdot (0,844^2 - 0,794^2)}{4} \times \\ \times 5 \cdot 7000 \cdot 9,81 = 22085 \text{ Н},$$

де $D_{сп}$ – зовнішній діаметр сіткоправильного валу, м;

$d_{сп}$ – діаметр оболонки сіткоправильного валу, м;

$\rho_{об.сп}$ – густина матеріалу оболонки сіткоправильного валу, кг/м³. Матеріал оболонки сіткоправильного валу – Ст30.

Сила тяжіння сіткоправильного валу з підшипниками:

$$G_{сп} = 2 \cdot G_{ц.сп} + G_{об.сп} + 2 \cdot G_{п.сп} = 2 \cdot 1550 + 22085 + 2 \cdot 18 \cdot 9,81 = 56540 \text{ Н}.$$

де $G_{сп}$ – сила тяжіння підшипників сіткоправильного валу, Н.

Максимально можлива інтенсивність навантаження на сіткоправильний вал від натягу сітки:

$$Q_{с.сп} = 2q_{сп} = 2 \cdot 5000 = 10000 \text{ Н},$$

де $q_{сп}$ – натяг верхньої сітки, кН/м.

Тягове зусилля на подолання тертя в підшипниках сітководучих валів:

$$T_{св} = Q_{св} f \frac{d_{ц.св}}{D_{св}} z_{св} = 91540 \cdot 0,02 \cdot \frac{0,16}{0,844} \cdot 2 = 695 \text{ Н},$$

де $Q_{св}$ – навантаження на сітководучий вал, Н;

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

f – приведений коефіцієнт тертя в підшипнику, віднесений до діаметра цапфи (для роликів підшипників 0,02);

$d_{ц.св}$ – діаметр цапфи сітководучого валу, м;

$D_{св}$ – діаметр сітководучого валу, м;

$Z_{св}$ – кількість сітководучих валів.

Сумарне навантаження на сітководучий вал:

$$Q_{св} = G_{св} + Q_{ц.св} + q \cdot K_{св} = 56540 + 10000 + 5000 \cdot 5 = 91540 \text{ Н},$$

де $G_{св}$ – сила тяжіння сітководучого валу з підшипниками, Н;

$Q_{ц.св}$ – максимально можлива інтенсивність навантаження на сітководучий вал від натягу сітки, Н;

$q_{св}$ – натяг сітки, Н/м;

$K_{св}$ – довжина оболонки сітководучого валу, м.

Сила тяжіння цапф сітководучого валу:

$$G_{ц.св} = \frac{\pi \cdot d_{ц.св}^2}{4} \cdot L_{ц.св} \cdot \rho_{ц.св} \cdot g = \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} \cdot 1 \cdot 7860 \cdot 9,81 = 1550 \text{ Н},$$

де $L_{ц.св}$ – довжина цапфи сітководучого валу, м;

$\rho_{ц.св}$ – густина матеріалу цапф сітководучого валу, кг/м³. Матеріал цапф сітководучого валу – Сталь 40Х.

Сила тяжіння оболонки сітководучого валу:

$$G_{об.св} = \frac{\pi \cdot (D_{св}^2 - d_{св}^2)}{4} \cdot K_{св} \cdot \rho_{об.св} \cdot g = \frac{3,14 \cdot (0,844^2 - 0,794^2)}{4} \times \\ \times 5 \cdot 7000 \cdot 9,81 = 22085 \text{ Н},$$

де $D_{св}$ – зовнішній діаметр сітководучого валу, м;

$d_{св}$ – діаметр оболонки сітководучого валу, м;

$\rho_{об.св}$ – густина матеріалу оболонки сітководучого валу, кг/м³. Матеріал оболонки сітководучого валу – Ст30.

Сила тяжіння сітководучого валу з підшипниками:

$$G_{св} = 2 \cdot G_{ц.св} + G_{об.св} + 2 \cdot G_{п.св} = 2 \cdot 1550 + 22085 + 2 \cdot 18 \cdot 9,81 = 56540 \text{ Н}.$$

де $G_{св}$ – сила тяжіння підшипників сітководучого валу, Н.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимально можлива інтенсивність навантаження на сітководучий вал від натягу сітки:

$$Q_{c.cb} = 2q_{cb} = 2 \cdot 5000 = 10000 \text{ Н},$$

де q_{cb} – натяг верхньої сітки, кН/м.

Тягове зусилля на подолання тертя в підшипникових опорах сітконатяжного валу:

$$T_{ch} = Q_{ch} f \frac{d_{ц,чh}}{D_{ch}} z_{ch} = 91540 \cdot 0,02 \cdot \frac{0,16}{0,844} \cdot 1 = 350 \text{ Н},$$

де Q_{ch} – навантаження на сітконатяжний вал, Н,

f – приведений коефіцієнт тертя в підшипнику, віднесений до діаметра цапфи (для роликів підшипників 0,02);

$d_{ц,чh}$ – діаметр цапфи сітконатяжного валу, м;

D_{ch} – діаметр сітконатяжного валу, м.

z_{ch} – кількість сітконатяжних валів.

Сумарне навантаження на сітконатяжний вал:

$$Q_{ch} = G_{ch} + Q_{c.ch} + q \cdot K_{ch} = 56540 + 10000 + 5000 \cdot 5 = 91540 \text{ Н},$$

де G_{ch} – сила тяжіння сітконатяжного валу з підшипниками, Н;

$Q_{c.ch}$ – максимально можлива інтенсивність навантаження на сітконатяжний вал від натягу сітки, Н;

q_{ch} – натяг сітки, Н/м;

K_{ch} – довжина оболонки сітконатяжного валу, м.

Сила тяжіння цапф сітконатяжного валу:

$$G_{ц,чh} = \frac{\pi \cdot d_{ц,чh}^2}{4} \cdot L_{ц,чh} \cdot \rho_{ц,чh} \cdot g = \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} \cdot 1 \cdot 7860 \cdot 9,81 = 1550 \text{ Н},$$

де $L_{ц,чh}$ – довжина цапфи сітконатяжного валу, м;

$\rho_{ц,чh}$ – густина матеріалу цапф сітконатяжного валу, кг/м³. Матеріал цапф сітконатяжного валу – Сталь 40Х.

Сила тяжіння оболонки сітконатяжного валу:

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{об.сн} = \frac{\pi \cdot (D_{сн}^2 - d_{сн}^2)}{4} \cdot K_{сн} \cdot \rho_{об.сн} \cdot g = \frac{3,14 \cdot (0,844^2 - 0,794^2)}{4} \times \\ \times 5 \cdot 7000 \cdot 9,81 = 22085 \text{ Н},$$

де $D_{сн}$ – зовнішній діаметр сітконатяжного валу, м;

$d_{сн}$ – діаметр оболонки сітконатяжного валу, м;

$\rho_{об.сн}$ – густина матеріалу оболонки сітконатяжного валу, кг/м³. Матеріал оболонки сітконатяжного валу – Ст30.

Сила тяжіння сітконатяжного валу з підшипниками:

$$G_{сн} = 2 \cdot G_{ц.сн} + G_{об.сн} + 2 \cdot G_{п.сн} = 2 \cdot 1550 + 22085 + 2 \cdot 18 \cdot 9,81 = 56540 \text{ Н}.$$

де $G_{сн}$ – сила тяжіння підшипників сітконатяжного валу, Н.

Максимально можлива інтенсивність навантаження на сітконатяжний вал від натягу сітки:

$$Q_{с.сн} = 2q_{сн} = 2 \cdot 5000 = 10000 \text{ Н},$$

де $q_{сн}$ – натяг верхньої сітки, кН/м.

Таким чином, загальне навантаження на подолання тертя в підшипниках валів верхньої сітки T_v складає:

$$T_v = T_{гр} + T_{сп} + T_{св} + T_{сн} = 263 + 350 + 695 + 350 = 1658 \text{ Н}.$$

Тягове зусилля на подолання тертя шаберів об поверхні валів верхньої сітки формуючої частини $T_{ш}$:

$$T_{в.ш} = T_{гр.ш} + T_{сп.ш} + T_{св.ш} + T_{сн.ш},$$

де $T_{гр.ш}$ – тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню грудного валу, Н;

$T_{сп.ш}$ – тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню сіткоправильного валу, Н;

$T_{св.ш}$ – тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню сітководучих валів, Н;

$T_{сн.ш}$ – тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню сітконатяжного валу, Н.

Тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню грудного валу:

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{гр.ш} = f_{гр.ш} q_{гр.ш} b_{гр.ш} = 0,25 \cdot 200 \cdot 5 = 250 \text{ Н},$$

де $f_{гр.ш}$ – коефіцієнт тертя шабера об поверхню грудного валу [2];

$q_{гр.ш}$ – тиск шабера на грудний вал, Н/м [2];

$b_{гр.ш}$ – довжина лінії контакту шабера з грудним валом, м.

Тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню сіткоправильного валу:

$$T_{сп.ш} = f_{сп.ш} q_{сп.ш} b_{сп.ш} = 0,25 \cdot 250 \cdot 5 = 312,5 \text{ Н},$$

де $f_{сп.ш}$ – коефіцієнт тертя шабера об поверхню сіткоправильного валу [2];

$q_{сп.ш}$ – тиск шабера на сіткоправильний вал, Н/м [2];

$b_{сп.ш}$ – довжина лінії контакту шабера з сіткоправильним валом, м.

Тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню сітководучих валів:

$$T_{св.ш} = f_{св.ш} q_{св.ш} b_{св.ш} \cdot z_{св} = 0,25 \cdot 250 \cdot 5 \cdot 2 = 625 \text{ Н},$$

де $f_{св.ш}$ – коефіцієнт тертя шабера об поверхню сітководучого валу [2];

$q_{св.ш}$ – тиск шабера на сітководучий вал, Н/м [2];

$b_{св.ш}$ – довжина лінії контакту шабера з сітководучим валом, м.

Тягове зусилля на подолання тертя шабера об поверхню сітконатяжного валу:

$$T_{сн.ш} = f_{сн.ш} q_{сн.ш} b_{сн.ш} = 0,25 \cdot 250 \cdot 5 = 312,5 \text{ Н},$$

де $f_{сн.ш}$ – коефіцієнт тертя шабера об поверхню сітконатяжного валу [2];

$q_{сн.ш}$ – тиск шабера на сітконатяжний вал, Н/м [2];

$b_{сн.ш}$ – довжина лінії контакту шабера з сітконатяжним валом, м.

Таким чином, сумарне тягове зусилля на подолання тертя шаберів об поверхні валів верхньої сітки формуючої частини $T_{в.ш}$:

$$T_{в.ш} = T_{гр.ш} + T_{сп.ш} + T_{св.ш} + T_{сн.ш} = 250 + 312,5 + 625 + 312,5 = 1500 \text{ Н}.$$

Сумарне тягове зусилля, необхідне для приведення верхньої сітки формуючої частини в рух складає:

$$T_{в.с} = T_{в} + T_{в.ш} = 1658 + 1500 = 3158 \text{ Н}.$$

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Збільшення тягового зусилля при можливому підвищенні швидкості з урахуванням коефіцієнта K_v :

$$K_v = 1 + 0,0004(V_{\text{пр}} - 200) = 1 + 0,0004(900 - 200) = 1,28.$$

Можливе збільшення величини тягового зусилля порівняно з середнім, враховується коефіцієнтом K_m , який для формуючої частини знаходиться в межах 1,25 – 1,3 [2].

Кінцеве значення потужності для приведення верхньої сітки формуючої частини в рух:

$$N_{\text{в.с}} = TV_{\text{пр}}K_vK_m = 3158 \cdot 15 \cdot 1,28 \cdot 1,3 = 78,8 \text{ кВт.}$$

Потужність електродвигуна грудного валу з урахуванням коефіцієнта корисної дії редуктора складає:

$$N_{\text{роб.гр}} = \frac{N_{\text{в.с}}}{\eta_{\text{дв}}} = \frac{78,8}{0,93} = 85 \text{ кВт.}$$

Потужність електродвигуна приймається найближчою до стандартної – $N_{\text{роб.гр}} = 90 \text{ кВт.}$

За результатами розрахунків та згідно з [21] обрано електродвигун АИМ 250М2 (АИММ 250М2) із короткозамкненим ротором, що призначений для роботи від мережі трьохфазного змінного струму, частотою 50 Гц для приводу стаціонарних машин у вибухонебезпечних виробництвах хімічної, газової та нафтопереробної промисловостей.

Електродвигун АИММ 280S2 (АИМ 280S2) має наступні технічні характеристики:

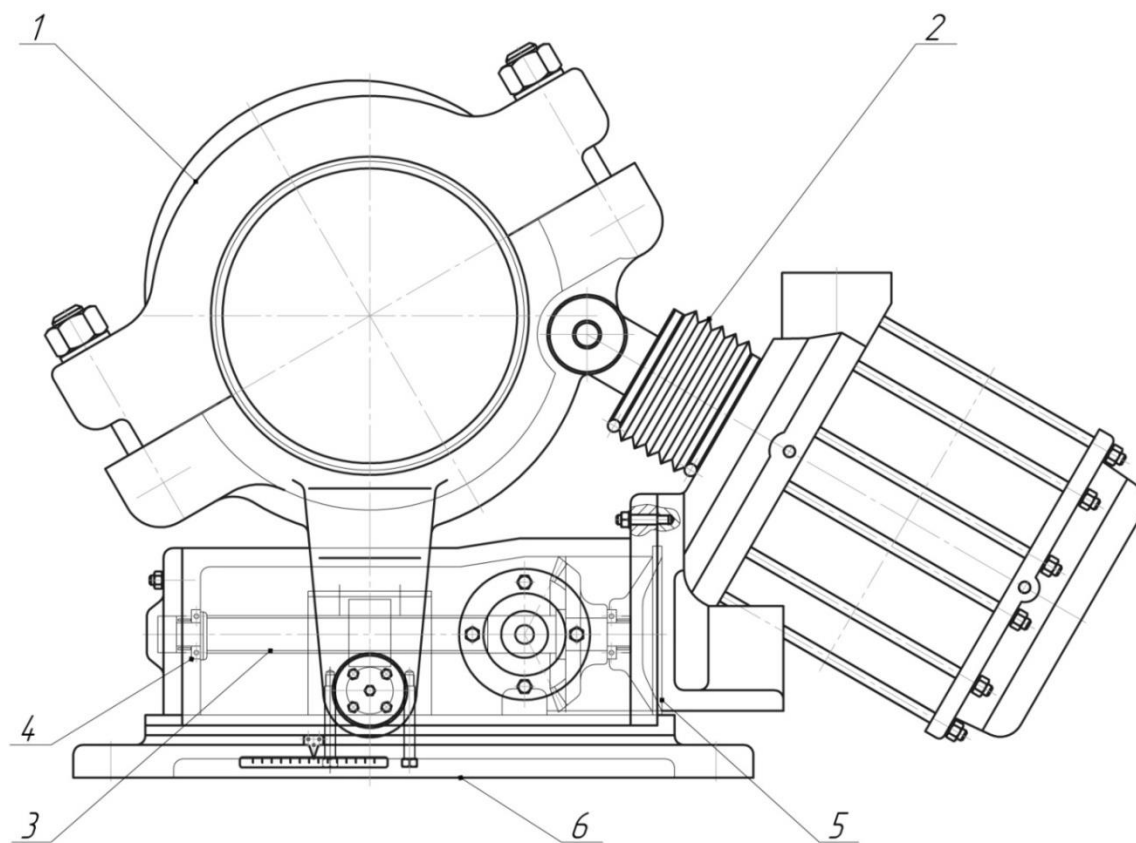
- потужність – 90 кВт;
- частота обертання – 3000 об/хв;
- ККД – 92,3%;
- коефіцієнт потужності – 0,94;
- маса електродвигуна – 550 кг.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електродвигун АИМ 250М2 (АИММ 250М2) оснащений двома схемами підключення (трикутник/зірка) в залежності від напруги мережі, що подає струм – 220/380 В або 380/660 В. Електродвигун призначений для роботи в режимі S1 – тривала робота при незмінному навантаженні тривалий час для досягнення постійної температури всіх її частин. Ступінь захисту IP54 – підвищений захист електродвигуна від вологи і пилу. Клас ізоляції обмоток статора F, максимальна температура нагріву 150 ° С.

4.13 Розрахунок сіткоправки

Схему конструкції сіткоправки пневматичної наведено на рисунку 4.14.



1 – вал сіткоправильний, 2 – пневмоциліндр, 3 – вал регулювальний,
4 – підшипниковий вузол валу регулювального, 5 – маховик, 6 – корпус

Рисунок 4.14 – Сіткоправка пневматична

Мета розрахунку – визначення тиску, який необхідно створити у діафрагмі пневмобалона.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

Вихідні дані:

Лінійний натяг сітки q_l , кН/м	5
Ширина сітки B , м	4,8
Діаметр діафрагми d_d , м	0,15

Розрахунок виконується згідно з методикою, наведеною в [3].

На рисунку 4.15 показана схема силових факторів, що діють на сіткоправку.

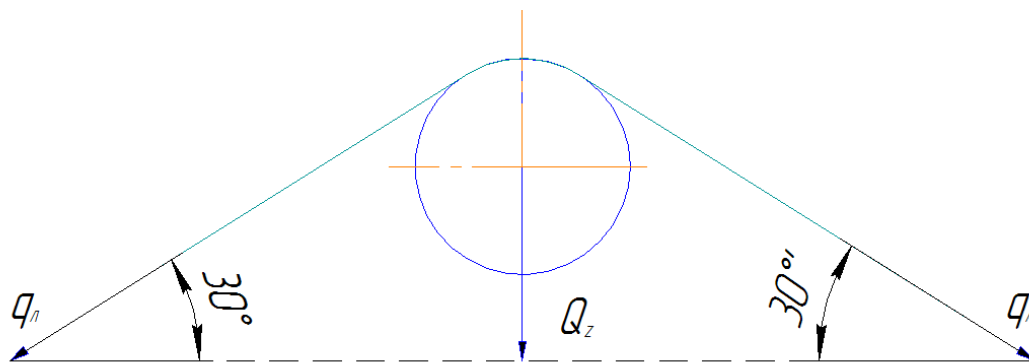


Рисунок 4.15 – Схема силових факторів що діють на сіткоправку

У зв'язку із можливою непаралельністю сіткоправильних та сітководучих валів формуючої частини ПРМ, нерівномірним подовження сітки, різною вологістю по ширині машини, сітка може зміщуватися перпендикулярно ходу відносно осі машини на лицьову або приводну сторону, що може призвести до пошкодження кромки сітки.

Рівнодійна сила натягу сітки, тобто зусилля, яке потрібно створити на каретці сіткоправки складає:

$$Q_z = 2 \cdot q_l \cdot B \cdot \sin \alpha_c = 2 \cdot 5 \cdot 4,25 \cdot \sin 30^\circ = 21,25 \text{ кН},$$

де α_c – кут огинання сіткою валу сіткоправильного.

Тиск, що потрібно створити в діафрагмі:

$$P_d = \frac{2 \cdot Q_z}{\pi \cdot d_d^2 \cdot \eta_p} = \frac{2 \cdot 21,25}{\pi \cdot 0,15^2 \cdot 0,85} = 708333 \text{ Па} = 0,71 \text{ МПа},$$

де d_d – діаметр діафрагми, м;

η_p – ККД пневмопристою.

Висновок: тиск, який необхідно створити у діафрагмі складає 0,4 МПа.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Для забезпечення належного рівня охорони праці співробітників паперо- та картоноробних підприємств проводять попередній науковий аналіз умов праці, виробничих процесів, конструкції машин та обладнання на предмет імовірності виникнення небезпечних факторів, виділення шкідливих виробничих речовин. На основі попереднього наукового аналізу визначаються небезпечні етапи виробництва, можливість виникнення аварійних ситуацій, їх характер та розробляються методи усунення чи обмеження наслідків [23].

Завдання охорони праці – мінімізувати імовірність різного роду уражень під час праці робітників із одночасним забезпеченням їх комфорту та максимальної продуктивності праці.

Тема магістерської дисертації: «Вдосконалення папероробної машини ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат». Модернізація формуючої частини папероробної машини» (Комплексна)», тому об'єктом досліджень є персонал даного підприємства, до якого входить оператор папероробної машини, що обслуговує формуючу частину. Він знаходиться на робочому місці, у приміщенні, площею $S = 24 \text{ м}^2$ і об'ємом $V = 72 \text{ м}^3$.

При роботі оператора існують шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- виробничий шум;
- промислове освітлення;
- повітря робочої зони;
- електробезпека;
- пожежна безпека;
- надзвичайні ситуації.

Передаточні механізми (шестерні, з'єднувальні муфти, колеса, вал карданний й т.д.) скомпоновані всередині станин або мають огороження, які виконані у відповідності з «Єдиними вимогами безпеки до технологічного обладнання ЦПП», Лісова промисловість, М., 1972, розділ II, підрозділ I, а також

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ОСТ 25-08-658-72 і ОСТ 25-08659- 72 (огороження приводних устроїв).

Огороджувальні устрої потрібно фарбувати згідно з СН 17170. Частини, що обертаються мають огорожу. Формуюча частина має драбини і містки, огорожу висотою 1,2 м, драбини мають кут нахилу 60°, ширина сходів 900 мм, містки забезпечені відбійниками висотою 500 мм [24].

Крім перерахованих заходів безпеки, обслуговуючий персонал перед роботою проходить інструктаж по техніці безпеки та правилах технічної експлуатації. А також ведеться контроль за виконанням цих правил.

5.1 Виробничий шум

Основними джерелами шуму формуючої частини, що розробляється є вали, двигуни та інше устаткування, шум яких перевищує 95 дБА.

Заходи по зниженню шуму механічного походження:

1. Шумопоглинання – використовують облицювальний матеріал з перфоруванням, покриттям та гіпсові плити. Операторна захищена екраном, який встановлений між машиною й робочим місцем. Екран виконаний зі скла силікатного товщиною 5 мм, що знижує рівень шуму на 20 – 15 дБА.

2. Звукоізоляція – забезпечення звукоізоляції дверного проходу приміщення, не нижче 30 дБА, стіни і покриття операторної забезпечені звукоізолюючим облицюванням з коефіцієнтом шумопоглинання не нижче 0,7 і мають звукоізолюючу здатність не нижче 50 дБА.

Для зменшення шуму від елементів формуючої частини, що обертаються необхідно:

- слідкувати за рівнем мастила в підшипникових вузлах (знижує рівень шуму ΔL на 5 дБА);
- виконати балансування валів (знижує рівень шуму ΔL на 7 дБА);
- монтажні роботи виконувати з великою точністю (знижує рівень шуму ΔL на 6 дБА) [23].

Для зниження шуму, що виникає в цеху, передбачено масивний бетонний

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фундамент, шумопоглинаючі покриття, застосування звукоізолюючих кожухів і акустичних екранів на обладнанні, що є джерелом підвищеного рівня шуму.

Засоби індивідуального захисту: протишумові навушники ПШН-Б ГОСТ 12.4.051.87, протишумові вкладиші «Беруши СТ-1» ТУУ25513947.002-99.

Ці заходи дозволяють знизити рівень шуму в робочій зоні до 65 дБА, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99.

5.2 Промислове освітлення

До висвітлення промислових приміщень і їх територій пред'являються високі вимоги для забезпечення безпечного виконання робіт, а також перебування та пересування людей. Проектування і монтаж приладів освітлення на таких об'єктах мають виконуватися відповідно до технічних нормативів. Вибираючи елементи освітлення для промислового підприємства також необхідно врахувати відмінності в освітленні промислового приміщення і відкритій території. До промислових елементів освітлення висувають наступні вимоги:

- Освітлення повинне бути однорідним без осліплюючого ефекту. Можливе використання відбивачів, які дозволяють досягти максимальної яскравості освітлювальних приладів і розширити площу освітлення;

- Характер світла повинен бути рівномірним без різких контрастів. Для освітлення затемнених ділянок можливе використання спрямованого світла;

- Для освітлення виробничих цехів повинні використовуватися світильники із закритим і захищеним корпусом. Такі заходи захисту допоможуть забезпечити безперебійну роботу світильників в навіть самих вологих або запилених приміщеннях.

Промислова світлотехніка повинна бути якісною, надійною та безпечною. При цьому з метою економічності вона повинна мати високий ККД, бути простою в експлуатації і не вимагати регулярного, технічно складного і дорогого ремонту.

В цеху підприємства, де працює оператор, необхідно забезпечити нормальну освітленість виробничої ділянки, яка становить $E_{\text{норм}} = 250$ лк [24].

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Джерела штучного світла, що застосовуються: лампи світлодіодні, потужністю 8 Вт, світловий потік яких становить 800 лм, час роботи – 25000 годин, фактична освітленість становить $E_{\phi}=300$ лк.

Таким чином, освітленість робочого місця відповідає вимогам ДБН В 2.5.28 – 2006.

Крім робочого передбачено також аварійне освітлення. Освітленість повинна становити не менше 5% величини робочого освітлення і не менше 1 лк на території підприємства.

5.3 Повітря робочої зони

Робота оператора даного виробництва відноситься до легкої фізичної роботи категорії Іб. Енерговитрати за таких умов праці складають 121-150 ккал/год. Тому для створення умов здорової і високопродуктивної праці необхідно забезпечити нормальні умови і чистоту повітря на ділянці. Необхідний стан повітря робочої зони може бути забезпечений завдяки виконанню певних заходів, основними з яких є:

1. Застосування технологічних процесів і обладнання, що виключають утворення шкідливих речовин або попадання їх у робочу зону;
2. Надійна герметизація вузлів устаткування, де нагріваються підшипники, з поверхні яких випаровується мастило;
3. Установка на проєктованій ділянці пристрою вентиляції або кондиціонування.

5.4 Метеорологічні умови у виробничому приміщенні

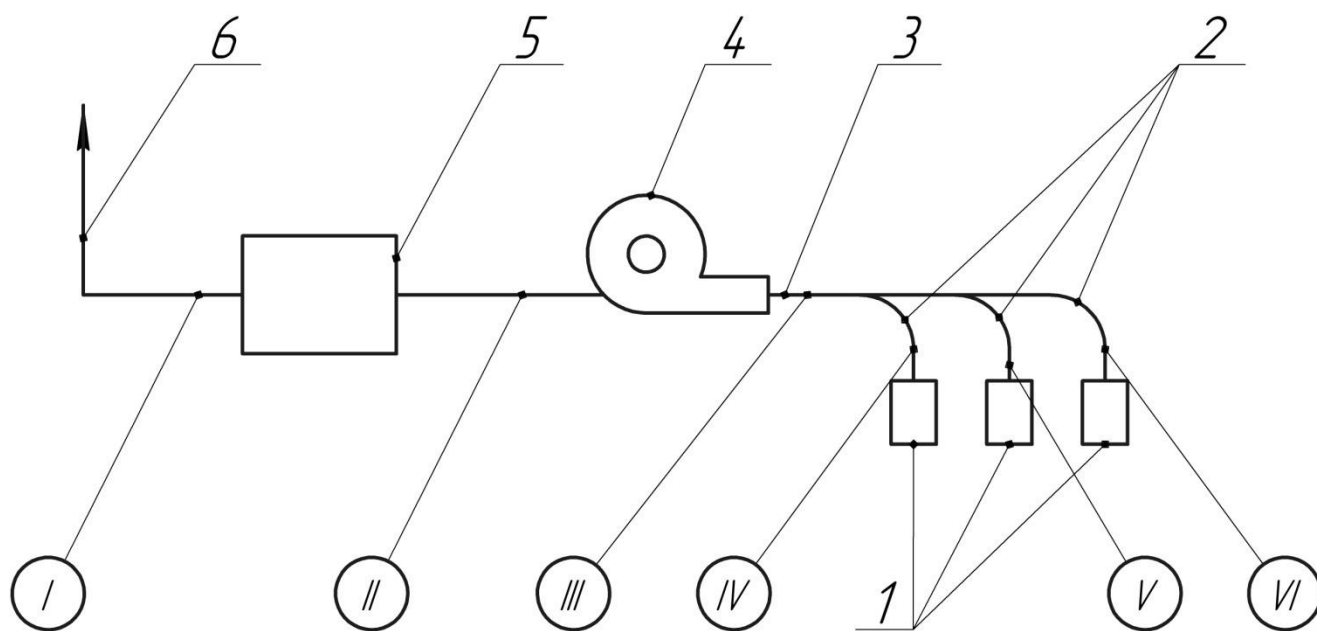
Робота оператора формуючої частини відноситься до категорії середньої важкості класу 21. Величина енерговитрат для цієї категорії робіт складає 172 – 293 Дж/с відповідно. Оптимальна температура в холодний період – 17°C - 19°C , в теплий період – 20°C - 24°C . Волога повітря в цеху чинить великий вплив на терморегуляцію організму. Тому оптимальні величини відносної вологості

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складають 40-60% згідно з [24]. Швидкість повітря впливає на розподіл шкідливих речовин в приміщенні. Повітряні потоки можуть розповсюджувати їх по всьому об'єму приміщення, переводити пил з осівшого стану у звішений. Мінімальна швидкість руху повітря, яку відчуває людина, складає 0,2 м/с. В зимову пору року швидкість руху повітря не перевищує 0,2 – 0,5 м/с, а в літню – 0,2 – 1,0 м/с. Метеорологічні умови відповідають санітарним нормам ДСНЗ.3.6.042-99.

При роботі формуючої частини ПРМ виділяється значна кількість тепла, що призводить до небажаного підвищення температури в робочій зоні. Для усунення цього шкідливого фактору використовується природна вентиляція цеху. Крім того, в літній період застосовується механічна вентиляція у формі парасолі, яка встановлена у місці виділення надлишкового тепла.

Система вентиляції цеху зображена на рисунку 5.1.



1 – забірні пристрої, 2 – повітроводи, 3 – магістральний трубопровід,

4 – вентилятор, 5 – очисник повітря, 6 – відвід повітря,

I, II, III, IV, V, VI – ділянки вентиляційної системи

Рисунок 5.1 – Система витяжної вентиляції цеху

Відвід повітря здійснюється через систему механічної вентиляції, робочі органи якої у формі парасолі. На рисунку 5.2 наведено її схему.

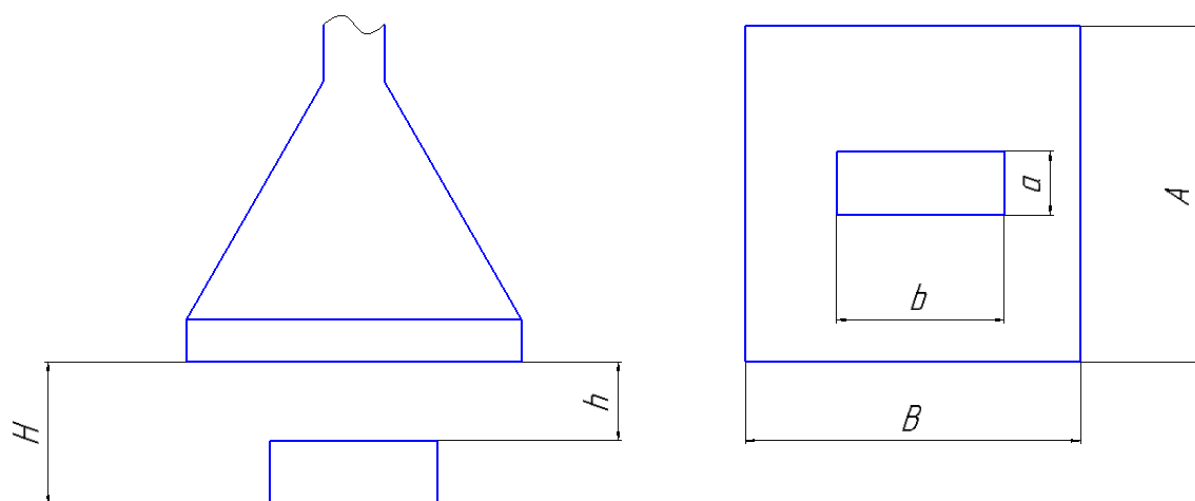


Рисунок 5.2 – Витяжна парасолька

Вихідні дані:

Висота підвісу зонта Н, м	1,6
Відстань від пазу зонта до поверхні, що перекривається h, м	0,8
Ширина поверхні, що перекривається a, м	0,7
Довжина поверхні, що перекривається b, м	4
Відстань від низу зонта до поверхні що перекривається h, м	0,8
Кут розкриття зонта φ , °	60
Середня швидкість в розрахунковому перерізі зонта V, м/с	0,75

Розрахунок ведемо за методикою, що наведена в [24].

Розміри прямокутної парасолі:

$$A = a + 0,8 \cdot h = 0,7 + 0,8 \cdot 0,8 = 1,34 \text{ м,}$$

$$B = b + 0,8 \cdot h = 4 + 0,8 \cdot 0,8 = 4,64 \text{ м.}$$

Кут зачинення зонта φ маємо приймати не більше 60° (в цьому випадку осьова швидкість в перерізі зонта близька до середньої по всьому перерізу зонта).

Повна висота зонта:

$$h_3 = \frac{A - D}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} + h_6 = \frac{1,34 - 0,3}{2 \cdot 0,57735} + 0,2 = 1,1 \text{ м},$$

де $D = 0,3$ – діаметр витяжної труби, м,

$h_6 = 0,2$ – висота борту, м.

Площа витяжної зони прямокутної парасолі:

$$F = A \cdot B = 1,34 \cdot 4,64 = 6,22 \text{ м}^2$$

Об'єм повітря, що видаляється витяжною трубою від парасольки:

$$L = 3600 \cdot F \cdot V = 3600 \cdot 6,22 \cdot 0,75 = 16794 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

За отриманими даними вибираємо осьовий вентилятор МЦ-8 за [24] з заданими характеристиками: Продуктивність $L = 20000 \text{ м}^3/\text{год}$, ККД $\eta = 0,58$, повний тиск – $P = 10 \text{ кГ/м}^2$.

Потужність двигуна:

$$N = \frac{L \cdot k \cdot P}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_v \cdot \eta_n} = \frac{20000 \cdot 1,5 \cdot 10}{3600 \cdot 102 \cdot 0,58 \cdot 0,6} = 2,347 \text{ кВт},$$

де $\eta_n = 0,6$ – ККД передачі.

Потужність електродвигуна N розраховується з коефіцієнтом запасу $k = 1,5$.

Приймаємо електродвигун потужністю $N = 2,5 \text{ кВт}$ з кількістю обертів $n = 950 \text{ об/хв}$.

Для забезпечення нормальних метрологічних умов згідно зі СНиП 2.04.05 – 91 передбачені наступні заходи:

- механізація і автоматизація важких і трудомістких робіт;
- пристрій захисту екранів, що захищають робочі місця від теплового випромінювання;
- система припливно-витяжної та змішаної, а також комбінованої вентиляції;
- біля входу в цех передбачено пристрій повітряно-теплових завіс, для попередження від переохолодження в зимовий час.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри мікроклімату контролюються на початку, в кінці та в середині теплового та холодного періодів року, а також на початку, в середині і в кінці зміни.

5.5 Електробезпека

На підприємстві, де експлуатуються будь-які види електротехніки, має бути забезпечено їх утримання у справному стані. Відповідальність за це несе інженер з охорони праці або фахівець, що виконує функції по забезпеченню охорони праці.

Експлуатація такого устаткування повинна проводитися відповідно до інструкцій, правил і норм безпеки, вимог охорони праці та інших регулюючих документів. Електричне обладнання повинно своєчасно проходити технічне планове обслуговування, ремонт, профілактичні випробування та інші види обслуговування, що забезпечують його справну роботу.

До роботи на електричному обладнанні допускаються особи, які мають необхідну групу електробезпеки, пройшли медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я, що пройшли інструктаж з правил експлуатації і техніки безпеки. Персонал, що працює з електричним обладнанням, повинен бути забезпечений засобами електрозахисту і спецодягом, а самі електричні установки вкомплектовані засобами захисту і всім необхідним для пожежогасіння.

У даному випадку, приміщення, в якому розташована ПРМ, відноситься до класу 21 – зони приміщень, де можливе утворення вибухонебезпечних концентрацій пилу або волокон з повітрям або іншим окислювачем при нормальних, нетривалих режимах роботи. На пульті управління оператора напруга $U = 220/380$ В, частота $f = 50$ Гц. Тип електромережі змінний із глухо заземленою нейтраллю та ізольованою проводкою. Схему занулення зображено на рисунку 5.3.

У даному випадку для оператора формуючої частини папероробної машини були застосовані наступні заходи для запобігання ураження електричним струмом:

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ізоляція струмопровідних частин пульта керування ($R = 0,5 \text{ Ом}$);
- електророзділення мережі за допомогою спеціальних розділяючих трансформаторів;
- рубильники включення замкнені в спеціальних шафах;
- при роботі з електроінструментом, потрібно застосовувати індивідуальні захисні засоби, такі як діелектричні рукавички і калоші, гумові килимки, ізольовані підставки;
- в аварійному режимі використовується захисне занулення;
- захисне заземлення ($R_3 = 2,9 \text{ Ом}$, що відповідає ГОСТ 12.1.030-89);
- встановлення орієнтації в електроустановках (попереджувальні сигнали та знаки; написи та таблички; знаки високої напруги; відповідне розташування і колір неізольованих струмоведучих частин і ізоляції; фарбування органів управління у відмінний від інших колір).

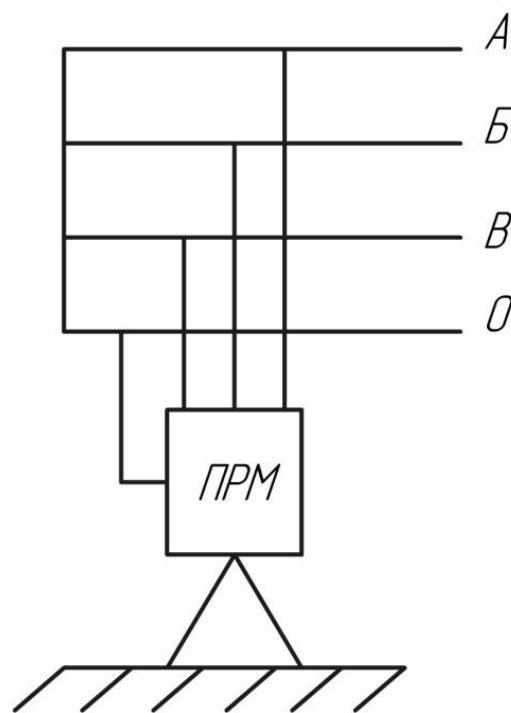


Рисунок 5.3 – Схема занулення

Забороняється:

- проводити роботи на незанулених вузлах лінії;
- проводити ремонт лінії без вимкнення електричної мережі;

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

- залишати лінію, що працює без нагляду;
- допускати до роботи людей, які не пройшли навчання і перевірку знань з охорони безпеки [24].

5.6 Пожежна небезпека

На промисловому підприємстві особливо важливо забезпечити безпеку кожного співробітника. Одним з головних факторів безпечної праці вважається пожежна безпека. Це складний комплекс дій, що включає в себе безліч різних заходів. Для забезпечення пожежної безпеки її правила повинні виконуватися всіма співробітниками підприємства без винятку. Це дозволить уникнути багатьох нещасних випадків, зберегти здоров'я і життя людей, запобігти тяжким наслідкам загоряння.

Для того, щоб забезпечити всім працівникам промислового підприємства належні умови праці, захист здоров'я і життя, необхідно виконати кілька цілей і завдань:

- затвердити службу, що допомагає організувати роботу із забезпечення пожежної безпеки на виробництві;
- провести детальний інструктаж із пожежної безпеки для співробітників;
- забезпечити дотримання правил пожежної безпеки;
- забезпечити приміщення підприємства засобами гасіння займань, а також системами попередження та уникнення пожежі.

Головним матеріалом на ділянці, який може спричинити пожежу є папір, що має низьку температуру займання (приблизно 250°C).

У відповідності до ОНТП 24-86, приміщення, де розміщена папероробна машина, відноситься до категорії В – пожежонебезпечне, так як містить горючі речовини, клас зони П – Па (ПУЕ). Згідно з СНІП 2.01.02-85, приміщення відноситься до першого ступеня вогнетривкості. Кількість поверхів не обмежується. Площа поверхів у межах пожежних відсіків не обмежується.

В робочому приміщенні є два евакуиходи – двостулкові двері шириною 2

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

метри, які відкриваються назовні, що відповідає СНиП 2.09.02-85.

В якості засобів гасіння пожежі використовують вуглекислі вогнегасники ОУ-8 (3 шт.), щити (2 шт.) і ящики з піском (2 шт.), які знаходяться на видних і загальнодоступних місцях.

В якості засобів оповіщення встановлена пожежна сигналізація із термооповіщувачами ПК4Г.

При виникненні пожежі використовують порошкові вогнегасники САМ – 9 для пожежогасіння без участі людини.

5.7 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

До надзвичайних ситуацій техногенного характеру на папероробному підприємстві відносяться аварії, що виникають в результаті поломки вузлів та обладнання ПРМ, наслідком чого може бути пожежа, вибух чи забруднення повітря сильнодіючими хімічними речовинами.

Якщо аварія на підприємстві призвела до вибуху, то окрім пожежі, небезпечним є розповсюдження ударної хвилі [24].

При виникненні вибуху на підприємстві необхідно:

- попередити робітників і службовців, зателефонувати в аварійно-рятувальну службу, а також оповістити населення, яке проживає поблизу;

- скористатися індивідуальними засобами захисту: індивідуальним повітряним апаратом МПА-2х30, місткістю балона 2 л, тиском 20 МПа, номінальний ЧЗД якого 18 хв. У разі нестачі для захисту органів дихання від пилу використовувати ватно-марлеву пов'язку;

- при пошкодженні будівлі вибухом входити та виходити з неї необхідно дуже обережно, переконавшись у відсутності значних ушкоджень перекриттів, стін, ліній електро-, газо- та водопостачання, а також пожежі та витоків газу;

- якщо вибух спричинив займання, необхідно скористатися первинними засобами пожежогасіння (вогнегасниками, протипожежним інвентарем). Для

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

недопущення поширення вогню треба задіяти внутрішні пожежні кран-комплекти та пожежні гідранти;

- надати допомогу тим, хто опинився під уламками конструкцій;
- допомогти витягти людей з-під завалів.

Схема евакуації у разі виникнення надзвичайної ситуації на підприємстві зображена на рисунку 5.4.

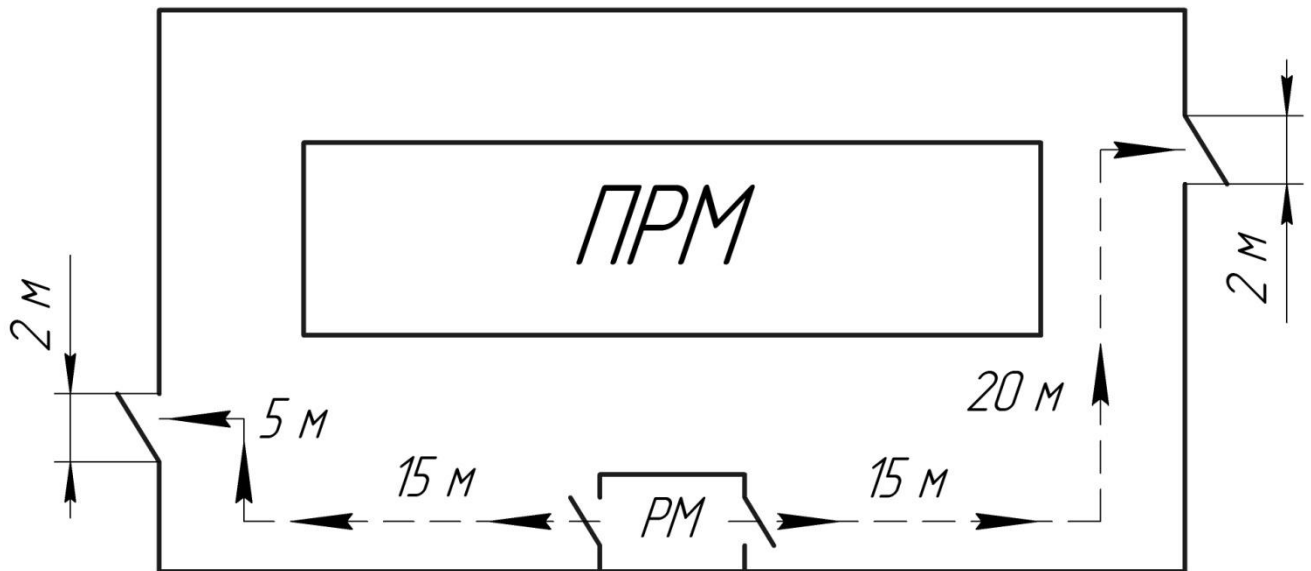


Рисунок 5.4 – Схема евакуації підприємства у разі виникнення надзвичайної ситуації

На підприємстві застосовуються автоматичні системи захисту, метою яких у разі виникнення надзвичайної ситуації є:

- сигналізація і оповіщення про аварійні ситуації виробничого процесу;
- оповіщення при порушенні регламентних параметрів (температури, тиску, складу речовини, швидкості процесу);
- виявлення загазованості виробничих приміщень і автоматичного включення пристроїв, які попереджають про утворення суміші газів і парів з повітрям вибухонебезпечних концентрацій;
- безаварійне зупинення окремих вузлів ПРМ або всього виробництва при раптовому припиненні подачі тепла та електроенергії, інертного газу, стисненого повітря.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

Обладнання підвищеного тиску повинно укомплектовано системами вибухозахисту, які передбачають:

- застосування обладнання, розрахованого на тиск вибуху;
- застосування гідрозатворів, вогнепопереджувачів, інертних або парових завіс;
- захист апаратів від руйнування під час вибуху за допомогою пристроїв аварійного скидання тиску (запобіжні мембрани і клапани, швидкодіючі засувки, зворотні клапани тощо).

Вибухозахист систем підвищеного тиску досягається також організаційно-технічними заходами: розробленням інструкцій, регламентів, норм і правил ведення технологічних процесів, організацією навчання та інструктажу персоналу, контролем і наглядом за дотриманням норм технологічного режиму, правил і норм техніки безпеки, промислової санітарії та пожежної безпеки тощо.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації

6.1 Монтажні роботи

Робота формуючої частини ПРМ без обривів та збоїв залежить від точності складання, монтажу, вивірки взаємного положення вузлів та деталей. При розробці робочої документації на машину, розробляють спеціальну монтажну документацію у відповідності з галузевим стандартом ОСТ-26-08-2017-92. Вимоги по монтажу та експлуатації частково викладені у кресленнях загального вигляду і складальних вузлах. Монтаж обладнання повинен виконуватись у відповідності з вимогами СНіП 3.05.05-84. Перед установкою вузлів і частин формуючої частини повинно передувати виконання повного об'єму будівельних робіт [25].

Формуюча частина ПРМ поставляється із заводу виробника в розібраному вигляді окремими деталями та, здебільшого, складальними вузлами. Для монтажу та обслуговування формуючої частини, цех в якому вона встановлена, повинен мати мостовий кран, з двома візками, вантажопідйомністю не менше 15 тон кожен. Розпаковку обладнання, яке надходить до місця складання, виконують з урахуванням технологічної послідовності складання формуючої частини. Перед монтажем та в процесі монтажу проводять укрупнене складання. Загальним документом, яким керуються при укрупненому складанні й монтажі, є монтажно-складальні, монтажно-установочні креслення та технічні вимоги заводу виробника, в яких викладені конструктивні і технологічні особливості формуючої частини, яка встановлюється [25].

Схема технологічного процесу монтажу формуючої частини складається з наступних основних операцій:

- монтаж станин валів формуючої частини;
- установка на проектне місце базового валу формуючої частини та вивірка його відносно базового валу ПРМ та центральної осі машини;
- монтаж валів та вивірка їх відносно вивіреного базового валу формуючої

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частини та між собою [26].

Підготовка до пуску формуючої частини ПРМ відбувається за наступними етапами:

1. Переконатися у відсутності сторонніх предметів на сітках, перехідних містках обслуговування та навколо формуючої частини.
2. Перевірити надійність кріплення валів, валиків, сприсків та огорожі.
3. Розправити складки на сітках та натягнути їх.
4. Перевірити встановлення автоматичних сіткоправок.
5. Встановити шабери в робоче положення.
6. Перевірити стан сопел сприсків, при необхідності прочистити їх.
7. Встановити сіткоправильні валки в необхідне положення.
8. Відрегулювати натяг сіток.
9. Включити створення вакууму на щілинних сіткомийках.
10. Перевірити піднімання та опускання валів при тиску повітря у пневматичних механізмах 0,5 МПа на хід 200 мм [25].

Після пуску формуючої частини слід перевести її на повну робочу швидкість, встановити навантаження на задане значення. Опустити пересмоктуючий вал для безобривної проводки паперового полотна із сіткової частини на пресову.

Під час роботи слідкувати за:

- станом верхньої та нижньої сіток;
- роботою й чистотою всіх шаберів ;
- чистотою щілин сукномийок ;
- кількістю води в сприсках низького тиску [25].

Також під час роботи треба приймати своєчасні міри з попередження можливих несправностей, які впливають на працездатність формуючої частини.

Зупинка формуючої частини відбувається в наступній послідовності :

- зменшити робочий тиск формуючої частини;
- відключити подачу вакууму на сукномийках;

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відключити вали формуючої частини;
- віджати шабер;
- підняти вали формуючої частини;
- виконати промивку підсіткових ванн, сітководучих валів, чистку сіткоюмийок, сприсків, шаберів [25].

6.2 Ремонтні роботи

Капітальний огляд валів формуючої частини слід здійснювати через кожні 3 – 5 місяців. При цьому в першу чергу оглядають підшипникові вузли валів, сприски та інше.

Загальні ремонтні роботи для ПРМ і формуючої частини:

- огляд та ремонт ручних і автоматичних механізмів правки й натяжки верхньої та нижньої сіток;
- заміна лез шаберів валів формуючої частини;
- заміна у разі необхідності підшипників валів формуючої частини.

Довговічність роботи підшипників на сучасних папероробних машинах в багато чому залежить від якості та своєчасності їх змащування. Корпуси підшипників повинні мати кришки із жировими канавками, які запобігають потраплянню води в підшипник і витіканню мастила. Для підшипників, які мають кришки із жировими канавками доцільна періодична заміна мастила [25].

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Конструюючи машин і апаратів хімічної та нафтопереробної промисловості варто максимально використовувати стандартні, нормалізовані й уніфіковані конструктивні елементи, деталі та вузли.

Уніфікація – це раціональне скорочення числа типів, видів, розмірів вузлів і їхніх елементів. З урахуванням класифікації процесів ряд машин і апаратів уніфіковані, тобто в конструкції передбачена можливість використання їх у різних виробництвах для проведення того самого процесу у визначеному діапазоні параметрів.

Стандартизація устаткування – це зведення численних видів виробів однакового функціонального призначення до обмеженого числа обов'язкових стандартних зразків.

Представлена у дисертації модернізована конструкція формуючої частини ПРМ була спроектована на основі аналогу формуючої частини, встановленому на ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат». Вона складається зі стандартизованих та уніфікованих елементів, вузлів, що застосовуються на виробництві в умовах експлуатації.

Формуюча частина ПРМ складається із 500 типів деталей, з яких:

- стандартизованих $N_c = 200$,
- уніфікованих $N_y = 115$,
- індивідуальних ненормалізованих $N_i = 185$.

Стандартні вироби конструкції формуючої частини підібрані за наступними стандартами:

1. Болти за ГОСТ 7796, ГОСТ 7798.
2. Гайки за ГОСТ 5915, ГОСТ 11371.
3. Гвинти ГОСТ 1476, ГОСТ 1491, ГОСТ 17473, ГОСТ 17473, ГОСТ 10336, ГОСТ 17478.
4. Манжети за ГОСТ 8752.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Шайби ГОСТ 6402, ГОСТ 11371, ГОСТ 14734.
6. Рим-болт ГОСТ 4751.
7. Шплінти ГОСТ 3129.
8. Шпильки за ГОСТ 22034.

Виходячи з цього, коефіцієнт стандартизованих деталей в конструкції складає:

$$K_c = \frac{N_c}{N_c + N_i} = \frac{200}{200 + 185} = 0,52.$$

Коефіцієнт уніфікованих деталей складає:

$$K_y = \frac{N_y}{N_y + N_i} = \frac{115}{115 + 185} = 0,38.$$

Отже, за результатами розрахунків з'ясовано, що модернізована конструкція стандартизована на 52% та уніфікована на 38%, що допомогло спростити конструкцію формуючої частини та дало можливість спростити технологічні процеси виготовлення окремих деталей, а також знизити вартість конструкції.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8 Очікувані техніко-економічні показники модернізації формуючої частини ПРМ

Формуюча частина ПРМ призначена для формування паперового полотна із паперової маси концентрацією 0,5 – 1,5%, закладання основ структури паперового полотна та паперового листа, створення умов для розвитку механічної міцності готової продукції. На сітковому столі сухість паперового полотна зростає від початкової, відповідній концентрації маси в напірному ящику, до сухості в середньому 18 – 24% (в залежності від виду продукції та конструкції сіткового столу). Таким чином, на сітковому столі, в залежності від початкової концентрації, видаляється 95 – 99% всієї води, наявної в паперовій масі, або 80 – 450 м³ води на 1 тону продукції. [10]

Тому в сучасних умовах перед сучасною целюлозно-паперовою промисловістю України ставиться завдання не тільки збільшення обсягів виробництва готової продукції, а й підвищення рівня її новизни, якості та конкурентоздатності шляхом вдосконалення існуючих конструкцій ПРМ.

У розробленій конструкції двосіткової формуючої частини модернізовано конструкцію гауч-валу шляхом встановлення додаткової системи очищення внутрішньої оболонки валу та вдосконалено конструкцію формуючого валу шляхом зміни типу його зовнішньої поверхні – замість гладкої жолобчата.

Запропоновані вдосконалення існуючої конструкції істотно вплинуть на процес зневоднення паперового полотна на формуючій частині та на властивості паперу: покращиться структура полотна, підвищиться показник розривної довжини полотна, число подвійних перегинів (вздовж і впоперек полотна) і опір продавлюванню, зменшиться повітропроникність. Також збільшиться продуктивність ПРМ в цілому та підвищиться сухість паперового полотна після формуючої частини, а витрати електроенергії при цьому залишаться незмінними.

Показники, що характеризують базову конструкцію та очікувані показники модернізованої машини зведені до таблиці 8.1.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 8.1 – Основні техніко-економічні показники базової та вдосконаленої конструкції гауч-валу формуючої частини ПРМ

Найменування показників	Одиниця виміру	Устаткування	
		Діюче, яке підлягає модернізації (базове)	Після модернізації (нове)
Продуктивність ПРМ по абсолютно сухому паперові	т/рік	120180	120200
Обрізна ширина паперу	м	4,250	4,250
Потужність електродвигунів	кВт	315	315
Діаметр гауч-валу	м	0,920	0,920
Діаметр формуючого валу	м	1,5	1,5
Сухість після формуючої частини	%	23	25
Тривалість ремонтного циклу	місяць	5	7
Площа, яку займає формуюча частина в цеху	м ²	42	42

Науковий керівник:

к.т.н, ст. вик. каф. МАХНВ

О.А. Новохат

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		113

8.1 Розрахунок суми капітальних витрат

Вдосконалення конструкції діючого базового устаткування – двосіткової формуючої частини ПРМ, здійснюється з метою покращення споживчих властивостей базової конструкції, тобто її характеристик: продуктивності, потужності, сухості паперового полотна після формуючої частини та ін. Разом з тим, модернізація діючого базового устаткування підприємства – це різновид зміни конструкції до найвищого та найсучаснішого рівня. Тобто, модернізація діючого базового устаткування підприємства означає внесення змін в його конструкцію з метою попередження його фізичного та морального зносу, а також підвищення його техніко-економічних параметрів.

В подальшому поняття «модернізація» вживається також і під терміном «удосконалення устаткування». Це пояснюється тим, що методичні підходи до розрахунків техніко-економічних показників є однаковими для обох вищевказаних видів робіт.

Економічно доцільно здійснювати роботу з удосконалення діючого базового устаткування, поєднуючи її з капітальним ремонтом. За результатами виробничої практики на ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат» встановлено, що модернізація устаткування хімічної, нафтопереробної та паперової галузей забезпечує збільшення його продуктивності на 10 – 20%, а понесені на неї витрати не перевищують половини вартості нових одиниць виробництва аналогічного призначення.

Капітальні витрати підприємства визначаються сумою витрат на розробку та виготовлення необхідних елементів устаткування або ж придбання його у компанії-виробника з включенням всіх витрат на придбання, встановлення та налагодження об'єкту. Придбання системи очищення внутрішньої оболонки валу в компанії-виробника є найбільш поширеним варіантом. Тому сума капітальних витрат в даному випадку складається з наступних елементів:

- витрати на проектно-конструкторські роботи по модернізації,

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- витрати на технологічну підготовку проекту модернізації,
- витрати на придбання та встановлення системи очищення внутрішньої оболонки валу,
- витрати на вдосконалення конструкції формуючого валу.

Розрахунок капітальних витрат починається з визначення витрат на проектно-конструкторські роботи. По кожному виду робіт, відповідно до ступеня їх новизни, складності об'єкту, що проектується, та з використанням норм часу на розробку конструкторської документації, визначаємо загальний нормативний час конструкторської підготовки виробництва із зазначенням професії та кваліфікації виконавця робіт [27].

Результати розрахунку трудомісткості конструкторської підготовки внесені до таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Результати розрахунку трудомісткості конструкторської підготовки

Найменування конструкторської документації або видів робіт	К-сть листів	Групи*		Норми часу, год.		Кваліфікація виконавця
		Новизни	Складності	На одиницю	Всього	
Складальний кресленик двосіткової формуючої частини ПРМ	A1x3	3	3	4	12	Інженер - проектувальник I категорії
Складальний кресленик гауч-валу формуючої частини ПРМ	A0	4	4	3	6	Інженер - проекту-вальник I категорії

Продовження таблиці 8.2

Складальний кресленик формуючого валу формуючої частини ПРМ	A0	4	4	3	6	Інженер - проекту-вальник I категорії
Схема автоматизації двосіткової формуючої частини ПРМ	A1	3	3	4	4	Інженер - проекту-вальник I категорії
Специфікація	8	3	3	2	2	Інженер - проекту-вальник I категорії
Пояснювальна записка	150	3	3	5	5	Інженер - проекту-вальник I категорії
Патентний пошук	15	8	8	5	5	Інженер - проекту-вальник I категорії
Разом	A1x8 A4 - 173	28	28	28	40	-

* Групи новизни та складності визначаються за п'ятибальною шкалою, де 1 – група найменш нових креслеників, складність виконання – найнижча. 5 – група найновіших конструкцій та розроблених креслеників, складність виконання – найвища.

Результати розрахунку основної заробітної плати виконавців проектно-конструкторських робіт представлено у таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Заробітна плата виконавців проектно-конструкторських робіт

Найменування документів	Сумарна норма часу, год	Кваліфікація виконавців	Годинна тарифна ставка, грн	Заробітна плата, грн
Кресленик загального виду	12	Інженер - проектувальник I категорії	80	960
Складальний кресленик гауч-валу	6	Інженер - проектувальник I категорії	80	480
Складальний кресленик формуючого валу	6	Інженер - проектувальник I категорії	80	480
Креслення окремих деталей	3	Інженер - проектувальник I категорії	80	240
Пояснювальна записка	8	Інженер - проектувальник I категорії	80	640
Разом	35	-	80	2800
З урахуванням премії (15 % від тарифу)	-	-	92	3220

Окрім того, на здійснення проектно-конструкторських робіт будуть використані матеріали та інші накладні витрати, наведені в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Вартість матеріалів та інші витрати для проектно-конструкторських робіт

Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн
Папір формату А4	упаковка	1	150	250
Ватман формату А1	шт.	8	15	120
Картридж до принтера	шт.	1	250	350
Олівець	шт.	6	5	30
Ручка	шт.	6	15	90
Разом витрати на матеріали	-	-	-	840
Накладні витрати (40% від основної зарплати)	-	-	-	1120
Загальна сума матеріальних та інших витрат	-	-	-	1960

Результати розрахунку витрат на проектно-конструкторські роботи зведені у таблицю 8.5.

Таблиця 8.5 – Витрати на проектно-конструкторські роботи

Статті витрат	Сума, грн
Основна заробітна плата	2800
Додаткова заробітна плата (премія)	420
Відрахування на соціальні заходи (ЄСВ)	708,40
Вартість проектних матеріалів	840

Продовження таблиці 8.5

Накладні витрати	1120
Разом	5888,40

Результати розрахунку трудомісткості на технологічну підготовку проекту модернізації внесені до таблиці 8.6.

Сума витрат на зарплату на технологічну підготовку проекту модернізації становить:

$$\begin{aligned} \text{КТП} &= K_{\text{год}} \text{ТП} \cdot t(1 + \text{ЄСВ})(1 + \text{Пр}) = 80 \cdot 28 \cdot (1 + 0,22)(1 + 0,15) = \\ &= 3142,72 \text{ грн,} \end{aligned}$$

де $K_{\text{год}} \text{ТП}$ – заробітна плата виконавця за годину, грн,

t – норма часу на виконання робіт, год,

ЄСВ – ставка єдиного соціального внеску на заробітну плату 22%,

Пр – премія, встановлена на підприємстві, 15%.

Таблиця 8.6 – Результати розрахунку трудомісткості технологічної підготовки проекту модернізації

Вид роботи	Групи складності	Кількість одиниць	Норми часу, год.		Кваліфікація виконавця
			На оди- ницю	Всього	
Проектування технологічного процесу вдосконалення гауч-валу і формуючого валу формуючої частини ПРМ					
Розробка технологічного процесу	5	1	12	12	Інженер - проектувальник I категорії
Проектування системи очищення гауч-валу	5	1	8	8	Інженер-механік II категорії

Продовження таблиці 8.6

Планування процесу нарізання жолобків на оболонці формуючого валу	4	1	8	8	Інженер-механік II категорії
Сумарна трудомісткість технологічної підготовки (t), год					28

Також для здійснення підготовчих робіт використовуються матеріали та інші накладні витрати, вартість яких внесено до таблиці 8.7.

Таблиця 8.7 – Вартість матеріалів та інші витрати для технологічної підготовки

Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн
Папір формату А4	упаковка	1	150	250
Ватман формату А1	шт.	1	15	15
Картридж до принтера	шт.	1	250	350
Разом витрати на матеріали	-	-	-	615
Накладні витрати (40% від основної зарплати)	-	-	-	896
Загальна сума матеріальних та інших витрат	-	-	-	1511

Результати розрахунку витрат на технологічну підготовку проекту модернізації зведені у таблиці 8.8.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 8.8 Витрати на технологічну підготовку проекту

Статті витрат	Сума, грн
Основна зарплата	2240
Додаткова зарплата (премія)	336
Відрахування на соціальні заходи (ЄСВ)	566,72
Вартість проектних матеріалів	615
Накладні витрати	896
Разом	4653,72

Сума витрат на придбання та встановлення додаткового обладнання складається із ціни виробника даного обладнання, витрат на його транспортування, монтаж і налагодження. Для даного проекту модернізації необхідним є придбання системи очищення внутрішньої оболонки гауч-валу у виробника компанії «Voith», Німеччина. Орієнтовна ціна даного обладнання з врахуванням витрат на доставку та курсу національної валюти ($\text{Ц}_\text{н}$) становить 25000 грн.

Витрати на монтаж та налагодження розраховуються у відсотках від ціни обладнання (15 – 25%), в даному варіанті витрати складуть 20% з врахуванням обсягів робіт:

$$K_{\text{дн}} = \text{Ц}_\text{н} \cdot k = 25000 \cdot 0,2 = 5000 \text{ грн},$$

де $K_{\text{дн}}$ – сума витрат на монтаж та налагодження,

$\text{Ц}_\text{н}$ – вартість додаткового обладнання,

k – частка витрат на оплату робіт щодо монтажу та налагодження.

Таким чином, витрати на придбання та встановлення системи очищення внутрішньої оболонки гауч-валу складуть:

$$K = K_{\text{дн}} + \text{Ц}_\text{н} = 5000 + 25000 = 30000 \text{ грн}.$$

Витрати на виконання робіт по нарізанню жолобків на зовнішній оболонці формуючого валу здійснюватимуться власними силами підприємства та за попередньою оцінкою, погодженою з підприємством, складатимуть:

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\text{дод}} = t_{\text{дод}} \cdot 3П_{\text{сер}}(1 + \text{ЄСВ}) \cdot k = 8 \cdot 80(1 + 0,22) \cdot 1,3 = 780,8 \text{ грн}$$

де $K_{\text{дод}}$ – вартість робіт по нарізанню жолобків на зовнішній оболонці формуючого валу, грн,

$t_{\text{дод}}$ – час, необхідний для виконання робіт по нарізанню жолобків, год,

$3П_{\text{сер}}$ – середня заробітна плата працівників підприємства, що виконуватимуть нарізання жолобків, грн/год,

ЄСВ – ставка єдиного соціального внеску на заробітну плату 22%,

$k = 1,3$ – коефіцієнт накладених витрат.

Загальна сума капітальних вкладень:

$$K_{\text{заг}} = П + КТП + К + K_{\text{дод}} = 5888,40 + 4653,72 + 30000 + 780,8 = 41323 \text{ грн},$$

де $K_{\text{заг}}$ – загальна сума капітальних вкладень у проект модернізації, грн,

$П$ – витрати на проектно-конструкторські роботи (таблиця 8.5), грн,

$КТП$ – сума витрат на технологічну підготовку (таблиця 8.8), грн.

8.2 Розрахунок економічного ефекту від впровадження модернізації

Економічний ефект від проведення модернізації формуючої частини ПРМ буде отримано за рахунок:

- підвищення сухості паперового полотна після формуючої частини,
- збільшення продуктивності ПРМ,
- зменшення експлуатаційних витрат,
- зменшення тривалості ремонтних робіт.

Підвищення сухості паперового полотна після формуючої частини призводить до підвищення продуктивності ПРМ по абсолютно сухому паперу.

Приріст продуктивності ПРМ в результаті його модернізації складатиме:

$$\Delta П = П_{\text{н}} - П_{\text{б}} = 120200 - 120180 = 20 \frac{\text{тонн}}{\text{рік}},$$

де $\Delta П$ – приріст продуктивності за рік,

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

P_6, P_n – річна продуктивність обладнання до та після модернізації відповідно.

Тоді, підприємство отримає додатковий прибуток від зростання продуктивності обладнання:

$$E_1 = \Delta P \cdot P_{гп} = 20 \cdot 1151 = 23020 \text{ грн.}$$

де E_1 – ефект від зростання продуктивності обладнання,

$P_{гп}$ – маржинальний прибуток від продажу за одиниці готової продукції, що дорівнює різниці ціни та змінних витрат на одиницю продукції, грн.

$$P_{гп} = C_{г.п.} - 3B = 50000 - 48849 = 1151 \text{ грн,}$$

де $C_{г.п.}$ – ціна за тонну готової продукції. Згідно із прас-листом продукції ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат», 1 тонна санітарно-гігієнічного паперу коштує 50000 грн.

$3B$ – змінні витрати підприємства, до яких входить ціна на сировину, необхідну для виготовлення тонни готової продукції (C_c , грн) та оподаткована заробітна плата основних робочих ($3P_{роб}$, грн.).

$$3B = C_c + 3P_{роб} = 30000 + 15450(1 + \epsilon_{CB}) = 48849 \text{ грн.}$$

Здійснення модернізації обладнання дозволить зменшити експлуатаційні витрати підприємства. Експлуатаційні (поточні) витрати при роботі устаткування, складаються з наступних статей витрат:

- витрати паливно-мастильних матеріалів,
- витрати на придбання та виготовлення запасних частин,
- витрати на оплату праці персоналу, що ремонтує устаткування,
- інші експлуатаційні витрати.

З достатнім для розрахунків ступенем точності, який базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина перевищення експлуатаційних (поточних) витрат для удосконаленого базового устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням складає:

$$E_2 = q_{баз} \cdot \Phi_{баз} - q_{нов} \cdot \Phi_{нов} = 0,03 \cdot 2000000 - 0,02 \cdot 2041323 = 19174 \text{ грн,}$$

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						123
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $q_{\text{баз}} = 0,03$ – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат для базового устаткування формуючої частини ПРМ, [27];

$q_{\text{нов}} = 0,02$ – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат для удосконаленого устаткування формуючої частини ПРМ, [27];

$\Phi_{\text{баз}} = 2000000$ – первісна вартість базового устаткування, згідно із прас-листом компанії-виробника, млн. грн.,

$\Phi_{\text{нов}} = 2041323$ – первісна вартість удосконаленого устаткування, грн.

Модернізація устаткування дозволить скоротити витрати на здійснення ремонтних робіт, зокрема через співвідношення тривалості ремонтного циклу базового устаткування та модернізованого:

$$E_3 = P \cdot \frac{T_{\text{нов}}}{T_{\text{баз}}} = 2500 \cdot \frac{7}{5} = 3500 \text{ грн},$$

де E_3 – економія витрат на здійснення ремонтних робіт, грн,

P – середньорічна вартість одного циклу ремонту базового устаткування, яка складає 2500 грн, за даними підприємства,

$T_{\text{баз}} = 5$ – тривалість ремонтного циклу базового устаткування, місяців,

$T_{\text{нов}} = 7$ – тривалість ремонтного циклу устаткування після модернізації, місяців.

Таким чином, загальна сума додаткового річного прибутку підприємства за рахунок модернізації формуючої частини ПРМ складе:

$$\begin{aligned} \text{ЧП} &= (E_1 + E_2 + E_3)(1 - c_{\text{под}}) = (23020 + 19174 + 3500)(1 - 0,18) = \\ &= 37470 \text{ грн}, \end{aligned}$$

де ЧП – сума річного чистого прибутку, додатково отриманого підприємством після модернізації устаткування,

$c_{\text{под}}$ – ставка податку на прибуток, яка відповідно до Податкового кодексу України складає 18%.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.3 Оцінка ефективності модернізації формуючої частини папероробної машини

Оцінка ефективності модернізації формуючої частини папероробної машини здійснюється шляхом порівняння суми капітальних вкладень з отримуваним додатковим прибутком. Річний економічний ефект:

$$E_{\text{річ}} = \text{ЧП} - K_{\text{заг}} \cdot E_{\text{н}} = 37470 - 41323 \cdot 0,1 = 33337,7 \text{ грн,}$$

де $E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень. Ця величина обернена нормативному терміну експлуатації устаткування:

$$E_{\text{н}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{10}$$

де $T = 10$ – нормативний термін експлуатації устаткування, років.

Також оцінка доцільності модернізації устаткування здійснюється за допомогою періоду окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{заг}}}{\text{ЧП}} = \frac{41323}{37470} = 1,2 \text{ років,}$$

де $T_{\text{ок}}$ – період окупності капітальних вкладень в модернізацію устаткування.

Середній період окупності аналогічних проектів складає 1 – 3 роки, тому запропонована модернізація формуючої частини ПРМ характеризується відносно малим періодом окупності.

Висновок: оскільки запропонована модернізація діючої на підприємстві базової формуючої частини ПРМ має малий період окупності відносно аналогічних проектів, то її впровадження на підприємстві є доцільним.

В результаті модернізації формуючої частини на 20% підвищується продуктивність ПРМ по абсолютно сухому паперу та зростає показник сухості паперового полотна. Покращуються властивості паперу, що виготовляється на ПРМ та повноцінно проходить процес двосторонньої фільтрації. Також до позитивного ефекту від модернізації відноситься покращення показників охорони праці та ергономіки обслуговуючого персоналу.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З метою вдосконалення системи очищення внутрішньої оболонки гауч-валу пропонується придбати систему вакуум-очищення німецької компанії «Voith». Доставка, монтаж та перевірка забезпечення необхідних технологічних показників системи вакуум-очищення здійснюватиметься компанією-виробником. Нарізання жолобків на зовнішній поверхні формуючого валу здійснюватиметься інженером-механіком II категорії власними силами підприємства.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

В дисертації на здобуття освітнього ступеню «Магістр» на тему «Вдосконалення папероробної машини ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат». Модернізація формуючої частини (Комплексна)» розроблено та вдосконалено конструкцію двосіткової формуючої частини ПРМ, що призначена для зневоднення та формування паперового полотна.

В результаті виконання магістерської дисертації також розроблено описання технологічного процесу формування паперового полотна та конструкції двосіткової формуючої частини папероробної машини типу «Дуоформер Т», її основних складальних одиниць та деталей. Обрано матеріали для виготовлення елементів конструкції формуючої частини, порівняно основні показники розробленої конструкції з аналогами, проведено патентні дослідження. Для підтвердження працездатності та надійності конструкції формуючої частини проведено необхідні розрахунки її основних складальних одиниць, розроблено заходи з охорони праці, рекомендації щодо монтажу та експлуатації; встановлено рівень стандартизації та уніфікації двосіткової формуючої частини, визначено очікувані техніко-економічні показники від модернізації конструкції та розроблено технологічний процес виготовлення деталі (кришки підшипникового вузла), а також схеми автоматичного керування технологічним процесом формування.

Модернізація базової конструкції двосіткової формуючої частини типу «Дуоформер Т», що функціонує на ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат», полягає у вдосконаленні системи очищення внутрішньої оболонки відсмоктувального гауч-валу та вдосконаленні конструкції зовнішньої оболонки формуючого валу шляхом нарізання на її поверхні жолобків.

Модернізація системи очищення оболонки гауч-валу дозволяє збільшити терміни служби ущільнень вакуум-камер, оскільки відбувається додаткове усунення засмічень із отворів оболонки, а також покращити якість паперового

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						127
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

полотна та інтенсифікувати процес зневоднення.

Модернізація конструкції формуючого валу дозволяє збільшити інтенсивність зневоднення шляхом реалізації процесу двосторонньої фільтрації води. Це досягається шляхом нанесення жолобків на зовнішній поверхні вала. В результаті цього сухість паперового полотна після сіткової частини підвищується до 25%, продуктивність ПРМ – до 20 т/рік при заданих умовах. Також з'являється можливість виготовляти санітарно-гігієнічний папір більшою масою квадратного метра або за більшої швидкості (від 25 г/м² за швидкості 22,7 м/с до 38 г/м² за швидкості 15 м/с). Тому зазначена модернізація рекомендована для впровадження у виробництво.

Графічна частина дисертації складається із 15,25 креслень в перерахунку на формат А1: схеми автоматичного керування процесом формування паперового полотна, ілюстрації технічної ідеї патенту на корисну модель, результатів наукових досліджень, складальних креслеників: формуючої частини ПРМ, масонапускного пристрою, гауч-валу, формуючого валу, сіткоправки, кондуктора для свердління отворів та кришки підшипникового вузла. До складальних креслеників розроблено специфікації.

За результатами роботи подано заявку на корисну модель відсмоктувального валу, опубліковано статтю в Мультидисциплінарному Міжнародному науковому журналі «Інтернаука» та три тези доповідей на Всеукраїнських конференціях.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						128
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Выводы

В диссертации на соискание образовательного степени «Магистр» на тему «Совершенствование бумагоделательной машины ЧАО «Киевский картонно-бумажный комбинат ». Модернизация формирующей части (Комплексная)» разработана и усовершенствована конструкция двухсеточной формующей части БДМ, что предназначена для обезвоживания и формирования бумажного полотна.

В результате выполнения магистерской диссертации также разработаны описание технологического процесса формирования бумажного полотна и конструкции двухсеточной формующей части бумагоделательной машины типа «Дуоформер Т», ее основных сборочных единиц и деталей. Избраны материалы для изготовления элементов конструкции формирующей части, сравнены основные показатели разработанной конструкции с аналогами, проведены патентные исследования. Для подтверждения работоспособности и надежности конструкции формующей части проведены необходимые расчеты ее основных сборочных единиц, разработаны мероприятия по охране труда, рекомендации по монтажу и эксплуатации; установлен уровень стандартизации и унификации двухсеточной формующей части, определены ожидаемые технико-экономические показатели от модернизации конструкции и разработан технологический процесс изготовления детали (крышки подшипникового узла), а также схемы автоматического управления технологическим процессом формирования.

Модернизация базовой конструкции двухсеточной формующей части типа «Дуоформер Т», функционирующей на ЧАО «Киевский картонно-бумажный комбинат», заключается в совершенствовании системы очистки внутренней оболочки отсасывающего гауч-вала и совершенствовании конструкции наружной оболочки формирующего вала путем нарезки на ее поверхности желобков.

Модернизация системы очистки оболочки гауч-вала позволяет увеличить сроки службы уплотнений вакуум-камер, поскольку происходит дополнительное

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						129
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

устранение засоров с отверстий оболочки, а также улучшить качество бумажного полотна и интенсифицировать процесс обезвоживания.

Модернизация конструкции формирующего вала позволяет увеличить интенсивность обезвоживания путем реализации процесса двусторонней фильтрации воды. Это достигается путем нанесения желобков на внешней поверхности вала. В результате этого сухость бумажного полотна после двухсеточной формующей части повышается до 25%, производительность БДМ – до 20 т/год при заданных условиях. Также появляется возможность изготавливать санитарно-гигиеническую бумагу большей массой квадратного метра или большей скорости (от 25 г/м² при скорости 22,7 м/с до 38 г/м² при скорости 15 м/с). Поэтому указанная модернизация рекомендована для внедрения в производство.

Графическая часть диссертации состоит из 15,25 чертежей в пересчете на формат А1: схемы автоматического управления процессом формирования бумажного полотна, иллюстрации технической идеи патента на полезную модель, результатов научных исследований, сборочных чертежей: формующей части БДМ, масонапускного устройства, гауч-вала, формирующего вала, сеткоправки, кондуктора для сверления отверстий и крышки подшипникового узла. К сборочным чертежам разработаны спецификации.

По результатам работы подана заявка на полезную модель отсасывающего вала, опубликована статья в мультидисциплинарных Международном научном журнале «Интернаука» и три тезисы докладов на Всеукраинских конференциях.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						130
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Conclusions

In the dissertation of Master's degree on theme «Advancement of papermaking machine of PJSC «Kyiv Cardboard and Paper Mill». Modernization of forming section of papermaking machine. (Complex)» the design of the dual-mesh forming section of paper making machine was improved which intended for paper web dewatering and forming.

The results of the master's thesis are development of the technological process of the paper web forming process and development of the construction of the dual-mesh forming section of PMM, its main assembly units and parts. Materials for the manufacturing of the forming section were selected, the main indicators of the developed design were compared with analogues and patent studies were carried out. To confirm the efficiency and reliability of the design of the dual-mesh forming section, required calculations were made, recommendations for installation and operation were developed, the level of standardization and unification of the dual-mesh forming section was determined, labor protection measures were developed, the expected technical and economic indicators from suction shaft modernization were defined, technological process of detail manufacturing (bearing cap) was developed and automatic control scheme of the technological process was developed.

Modernization of the basic construction of the «Duoformer T» type of dual-mesh forming section, which functioning at PJSC Kiev Cardboard and Paper Mill, is to improve the cleaning system of the inner casing of the suction cushion shaft and improve the design of the outer casing of the forming shaft by cutting grooves on its surface.

Modernization of the design of the forming shaft allows to increase the intensity of dehydration by implementing the process of two-way filtration of water. This is achieved by applying grooves on the outer surface of the shaft. As a result, the dryness of the paper web after the two-wire forming part increases to 25%, the productivity of the paper machine is up to 20 tons/year under specified conditions. It is also possible to

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						131
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

produce sanitary paper with a larger mass per square meter or higher speed (from 25 g/m² at a speed of 22.7 m/s to 38 g/m² at a speed of 15 m/s). Therefore, this upgrade is recommended for implementation in production.

The graphic part of the dissertation consists of 15,25 drawings in terms of A1 format: automatic control scheme for the formation of a paper web, an illustration of the technical idea of a utility model patent, scientific research results, assembly drawings of the paper making machine forming section, the suspension overlap device, the suction shaft, the forming shaft, the netting, the conductor for drilling holes, the bearing cap. Specifications for assembly drawings are made.

According to the results of work, an application was submitted for a utility model of a suction shaft, an article in the Multidisciplinary International Scientific Journal «Internauka» was published and three theses of reports at the All-Ukrainian Conference was published.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						132
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

- 1) Офіційний сайт асоціації «Укрпапір» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrpaper.org/news.php>
- 2) Чичаев, В.А. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. В 2-х томах. Т.2. Бумагоделательные машины: учеб / В. А. Чичаев, М. Л. Глезин, В. А. Екимова и др. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.
- 3) Фляте, Д.М. Технология бумаги. Учебник для вузов / Д.М.Фляте. – М. Лесн. пром-сть, 1988 – 440 с.
- 4) Иванов, С.Н. Технология бумаги / С.Н. Иванов. – 3-е изд. – М.: Школа бумаги, 2006. – 696 с.
- 5) Матеріали переддипломної практики, отримані на ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат».
- 6) Акулов Б.В. Производство бумаги и картона: Учебное пособие / Б.В. Акулов, С.Г. Ермаков – Перм.гос.техн.ун-т. – 2010. – 440 с.
- 7) Кокушин, Н.Н. Систематизация сеточных частей бумагоделательных машин с двухсеточным формированием.: Учебное пособие / Н.Н. Кокушин, В.А. Смирнов, А.П. Спирин. – Л.: ЛТА, – 1986. – 60 с.
- 8) Офіційний сайт компанії «Voith» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://voith.com/corp-en/index.html>
- 9) Офіційний сайт компанії «Valmet» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.valmet.com>
- 10) Эйдли, И.Я. Бумагоделательные и отделочные машины, изд. 3-е, испр. и доп. / И.Я. Эйдли. – М.: «Лесная промышленность», 1970. – 624 с.
- 11) Смолин, А.С. Технология формирования бумаги и картона / Смолин А.С., Аксельрод Г.З. – М.: Лесн. пром.-сть – 120 с.
- 12) Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т.2. – 9-е изд., перераб. и доп / под. ред.. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 960 с.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						133
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13) Пат. № 126991 Україна, МПК D21F 3/10 (2006.1). Відсмоктувальний вал/ О.А. Новохат, М.Б. Матохнюк; власники: О.А. Новохат, М.Б. Матохнюк. – U201801681; заявл. 20.02.18; публ. 10.07.2018, Бюл. № 13. – 5с.

14) Пат. № 127088 Україна, МПК (2018.01) D21F 3/00, D21F 3/06 (2006.1), D21F 7/00. Перфорований вал / О.А. Новохат, Т.С. Михалишина; власники О.А. Новохат, Т.С. Михалишина – U201802625; заявл. 15.03.2018; публ. 10.07.2018, Бюл. № 13. – 4с.

15) Пат. № 100184 Україна, МПК D21F 3/10 (2006.1). Відсмоктуючий вал / В.М. Марчевський, А.С. Процак; власники О В.М. Марчевський, А.С. Процак – U201501427; заявл. 19.02.2015; публ. 10.07.2015, Бюл. № 13. – 4с.

16) Patent № 9,856,603 United States Patent, Current CPC Class: D21F 11/006 (20130101); D21F 11/145 (20130101); D21F 1/76 (20130101); D21F 5/18 (20130101). Process for production of a fibrous pulp web / Anzel; Andreas (Graz, AT), Gissing; Klaus (Judendorf-Strassengel, AT), Scherb; Thomas (Sao Paulo, BR), Mausser; Wilhelm (Graz, AT); Assignee: ANDRITZ AG (Graz, AT) (US) – № US 9,856,603; Appl. No.: 15/283,636; Filed: October 3, 2016. Publication Date: Apr 6, 2017. – 20 p.

17) Patent № 20100065234 United States Patent Application Publication, Current CPC Class: D21F 3/00 (2006.01); D21F 11/00 (2006.01); B23P 23/00 (2006.01). Structuring belt, press section and tissue papermaking machine for manufacturing a high bulk creped tissue paper web and method therefore/ Inventors: Ingvar Berndt Erik Klerelid Karlstand (SE); Ola Thomasson, Rottneros (SE); Assignee: Ingvar Berndt Erik Klerelid Karlstand (SE); Ola Thomasson, Rottneros (SE); – Appl. No.: 12/561,840; Filed: Sep. 17, 2009. Publication Date: Mar. 18, 2010. – 30 p.

18) Шульман, Г.З. Сеточная часть бумагоделательных и картоноделательных машин. Расчет основных узлов: учебное пособие/ Г.З. Шульман, Н.В. Евдокимов. – ВШТЭ СПбГУПТД – СПб., 2016. – 53 с.

19) Куров, Н.Н. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины: Учеб. Пособие / Под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина. СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2006. – 588 с.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						134
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20) Швецов, Ю.Н., Расчет основных параметров бумаго- и картоноделательных машин: учебно-методическое пособие / сост. Ю.Н. Швецов, Э.А. Смирнова. – ГОУВПО СПбГТУЗП. – СПб., 2009. – 64 с.

21) Офіційний сайт компанії «Systemax» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://systemax.com.ua/g32952554-aimm-aim-vzryvozaschischnyj>

22) Писаренко, Г. С. Сопротивление материалов: Учебник для вузов / Под общ. ред. акад. АН УССР Г.С. Писаренко. – 4-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа. Головное изд-тво, 1979. – 696 с.

23) Жидецкий, В.Ц. Практикум із охорони праці [Текст]: Навчальний посібник. / В.Ц.Жидецкий, В.С Джігірей та інші. – Львів: Афіша, 2000 – 352 с.

24) Уральский, А.В. Пособие по охране труда на целлюлозно-бумажных предприятиях / А.В. Уральский, П.И. Маряшев. – М., «Лесная промышленность», 1978. – 136 с.

25) Малинский, И.З. Ремонт и монтаж оборудования целлюлозно-бумажного производства / И.З. Малинский. – М., «Лесная промышленность», 1975. – 344 с.

26) Кокушин, Н.Н. Монтаж и ремонт целлюлозно-бумажного оборудования / Н.Н. Кокушин – М., Экология. 1991 г. – 209 с.

27) Задольский, А.М. Методичні вказівки для виконання економічної частини диплому спеціалістів / А.М. Задольский. Київ: КПІ, 2012 р. – 82 с.

					ЛБ71.705411.001 ПЗ	Арк.
						135
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		